

## ホットラボ排気筒の基本設計

Basic Design of the Hot Laboratory Exhaust Stack

森田 寿 大伍 史久 佐谷戸 夏紀 綿引 俊介  
小島 一樹 中山 一彦 井手 広史

Hisashi MORITA, Fumihisa DAIGO, Natsuki SAYATO, Shunsuke WATAHIKI  
Kazuki KOJIMA, Kazuhiko NAKAYAMA and Hiroshi IDE

高速炉・新型炉研究開発部門  
大洗研究所  
環境技術開発センター  
材料試験炉部

Department of JMTR  
Waste Management and Decommissioning Technology Development Center  
Oarai Research and Development Institute  
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development

May 2022

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課  
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).  
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.  
For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

## ホットラボ排気筒の基本設計

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門  
大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部

森田 寿、大伍 史久、佐谷戸 夏紀、綿引 俊介、小島 一樹<sup>+1</sup>、中山 一彦<sup>+1</sup>、井手 広史

(2021年11月30日受理)

平成27年1月にJMTRホットラボ建家において雨漏れ補修を行っていたところ、ホットラボ排気筒の基礎部アンカーボルト1本に減肉が確認された。

その後の排気筒における詳細調査により、複数のアンカーボルトの減肉及びフランジプレートとアンカーボルトのナットに間隙が確認されたことを受け、排気筒の倒壊が否定できない状態であると判断されたため、排気筒の撤去を行った。そのため、早急に当該排気筒の取替えを行う必要が生じた。

新たな排気筒の設計を行うにあたり、詳細調査により判明したアンカーボルトの減肉等の原因である基礎部への雨水の浸入への対策に加え、東京電力福島第一原子力発電所の事故後に策定された新規規制基準への対応を踏まえた設計とした。また、建築確認を受けなければならない建築物及び工作物に該当することから、建築基準法及び煙突構造設計指針に基づく地震力や風荷重に対する排気筒の健全性の評価を行った。

本報告書はホットラボ排気筒の基本設計についてまとめたものである。

---

大洗研究所：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

+1 建設部

## Basic Design of the Hot Laboratory Exhaust Stack

Hisashi MORITA, Fumihisa DAIGO, Natsuki SAYATO,  
Shunsuke WATAHIKI, Kazuki KOJIMA<sup>+1</sup>, Kazuhiko NAKAYAMA<sup>+1</sup> and Hiroshi IDE

Department of JMTR,  
Waste Management and Decommissioning Technology Development Center,  
Oarai Research and Development Institute,  
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development,  
Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 30, 2021)

When the roof of the JMTR Hot Laboratory (HL) building was repaired for rain leaks in January, 2015, thinning was found at one of the anchor bolts on base of the HL exhaust stack.

Moreover, the thinning of some anchor bolts and gaps between the anchor bolt nuts and flange plate was found in the later investigation for the exhaust stack.

Since the possibility of the exhaust stack collapsing cannot be denied, it was removed. Therefore, it became necessary to rebuild a new exhaust stack as soon as possible.

The design of the new exhaust stack was based on the measures to prevent rainwater intrusion into the base, which was the cause of the thinning of the anchor bolts found in the investigation, and on the new regulatory standards established after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Furthermore, since the new exhaust stack corresponds to buildings and structures that must undergo building confirmation, the soundness of the new exhaust stack against seismic force and wind load was evaluated based on the Building Standards Law and the Stack Structure Design Guideline.

This report described the basic design of the new exhaust stack.

Keywords : Exhaust Stack, Hot Laboratory, JMTR

---

<sup>+1</sup> Construction Department

## 目 次

1. はじめに	1
2. ホットラボ施設	1
3. 排気筒の設計	2
3.1 排気筒の設計の考え方	2
3.2 排気筒の設計条件	3
4. 原因究明に係る対策	3
4.1 アンカーボルトの減肉に係る原因	3
4.2 原因究明による排気筒の設計への反映	3
5. 計算結果及び考察	4
6. まとめ	5
謝辞	6
参考文献	6
付録1 ホットラボ排気筒の計算書	17
付録2 基本的な設計以外の既設建家との兼ね合い、力の伝達の考え方	139

## Contents

1. Introduction	1
2. Hot Laboratory	1
3. Design of the Hot Laboratory exhaust stack	2
3.1 Design concept of the Hot Laboratory exhaust stack	2
3.2 Design condition of the Hot Laboratory exhaust stack	3
4. Measures for investigating the cause	3
4.1 Causes related to wall thinning of anchor bolts	3
4.2 Reflection in exhaust stack design by investigating the cause	3
5. Calculation results and consideration	4
6. Conclusions	5
Acknowledgements	6
References	6
Appendix 1 Calculation of the Hot Laboratory exhaust stack	17
Appendix 2 Balance with existing buildings other than basic design, concept of the power transmission	139

## 1. はじめに

平成 27 年 1 月に材料試験炉ホットラボ建家において雨漏れ補修を行っていたところ、ホットラボ排気筒（以下「排気筒」という。）のアンカーボルト 1 本に減肉が確認され、平成 27 年 6 月にアンカーボルト等について詳細な調査を行った。排気筒のアンカーボルト（内側：16 本、外側：16 本）の調査の結果、内側アンカーボルトは全数、外側アンカーボルトは 5 本が減肉しており、さらにアンカーボルトのナットとフランジプレートに隙間があることを確認した<sup>1)</sup>。これにより、排気筒の倒壊が否定できない状態であると判断し、平成 27 年 8 月に排気筒の撤去を行い、早急に新たな排気筒に取替えることとなった。

排気筒は、建築確認を受けなければならない建築物及び工作物に該当することから、建築基準法に基づいた評価事項（地震力、風荷重など）を満足することが要求される。また、平成 23 年の東日本大震災以降、東京電力福島第一原子力発電所の事故の反省や国内外からの指摘を踏まえて策定された基準（以下「新規制基準」という。）も平成 25 年 12 月 18 日に施行されたため、核燃料施設等における新規制基準の適用の考え方<sup>2)</sup>を基に、新規制基準に対する対応も行った。新規制基準への自主的対応として、排気筒の耐震設計には波及的影響を考慮し、排気筒鋼板部（以下「鋼板部」という。）だけでなく、鋼板部の脚部（以下「脚部」という。）の構成部材、排気筒鉄筋コンクリート部（以下「RC 部」という。）及び排気ダクトの強度評価を行った。また、煙突状の構造であることから煙突構造設計指針<sup>3)</sup>に基づいた風方向荷重等に対する強度評価を行った。一方、アンカーボルト減肉の原因調査から、雨水がベースプレート下に染み込むことにより、高湿潤環境を形成し、排気の流れや天候によって乾湿が繰り返されたことにより腐食が促進されたことから、その対策も講じる設計とした。

本報告書は、JMTR ホットラボ排気筒取替工事に係る施設検査申請書の作成のための排気筒の基本設計をまとめたものである。

## 2. ホットラボ施設

ホットラボ施設<sup>4)</sup>は、JMTR で照射した燃料・材料の照射後試験を行う施設として、昭和 42 年 4 月に建設を開始し、昭和 46 年に完成した。この施設の特徴は、原子炉とホットラボをカナルで繋ぐことにより照射されたキャプセル等をキャスクを使用せず極めて容易に移動を可能としたことである。ホットラボ施設の鳥瞰図を図 2-1 に示す。照射後試験施設としては、燃料試験用のコンクリートセル 8 基及び顕微鏡鉛セル 4 基、材料試験用鉛セル 7 基があり、非破壊試験及び破壊試験を行う基本的な各種内装機器が整備されている。また、材料の動的機械強度特性を評価するため材料試験用鉄セル 5 基、高燃焼度燃料試験のための複合型微細組織解析装置が設置されている。ホットラボ施設は、コンクリートセル及び顕微鏡鉛セルが核燃料使用施設及び RI 使用施設で、それ以外の材料試験用鉛セル及び鉄セル並びに微細組織解析室、物性試験室などが RI 使用施設となっている。

ホットラボに設置されていた旧排気筒の外観写真及び旧排気筒の概略図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。排気筒は、ホットラボ施設の北西に位置し、鋼板部及び RC 部で構成される高さ 40 m (鋼板部は 33 m)、出口直径 (内径) 1.5 m の自立型である。また、脚部は、アンカープレート、ベースプレート、フランジプレート、リブプレート、アンカーボルト等から構成され、RC 部に埋め込まれている。排気筒の地下は、鉄筋コンクリート構造の排気ダクトがあり、RC 部とともにホットラボ建家と一体となっている。

ホットラボ施設は、原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008)<sup>5)</sup> (以下「JEAC4601」という。) の建物・構築物の重要度分類によると耐震 B クラスに相当し、旧排気筒も建物の要求性能の耐震 B クラスで設計されていた。

### 3. 排気筒の設計

#### 3.1 排気筒の設計の考え方

排気筒の設計にあたっては、許可されている核燃料物質使用変更許可申請書 (平成 22 年 3 月 2 日許可。以下「既許可」という。) に添った気体廃棄施設の排気筒を更新することとし、排気筒の仕様を変更しないものとした。また、当時の工事の技術上の基準への適合性として「第 2 号 耐震上の安全」、「第 11 号 警報装置の機能」及び「第 12 号 廃棄施設の排気能力及び構造」に該当し、そのうちの「第 2 号 耐震上の安全」について検討した。工事の技術上の基準への適合性を表 3-1 に示す。

なお、新規規制基準の対応として、核燃料使用施設におけるバックフィット等の要求はなかったが、新規規制基準への自主的な対応 (更なる安全性の向上) として以下の事項について評価し、基本設計をすることとした。

施設の重要度分類として、ホットラボ施設は JEAC4601 の建物・構築物の重要度分類から耐震 B クラス相当である。また、既許可においても排気筒は、耐震 B クラス相当で設計されており、その要求を満足する評価が必要である。一方、JEAC4601 には、設備に関する重要度分類に波及的影響を考慮すべき設備に関する記載がある。これは、下位の耐震クラスに属する設備が地震により破損、倒壊することにより上位クラスの設備の機能を阻害するおそれがある場合は、影響を受けるおそれのある上位クラス設備の安全機能を維持するために考慮すべき地震動を用いて確認することが重要であるとされている。このため、排気筒の高さ 40 m のうち、鋼板部が 33 m であることから鋼板部が倒壊した場合の影響について検討した。この結果、鋼板部の倒壊範囲内に耐震 S クラス相当施設があることから、鋼板部については安全側に耐震 S クラス相当の外力に耐え得る設計とすることとした。なお、JEAC4601 に基づく耐震 S クラス施設の評価では、基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  による地震応答解析が要求されているが、当時は基準地震動  $S_s$  が策定されていなかったことから静的地震力のみによる評価で行うこととした。

また、排気筒の設計においては、建築基準法から風荷重評価が要求されているが、排気筒が煙突状の構造であることから、煙突構造設計指針に基づく風方向荷重等についても評価を行った。



### 3.2 排気筒の設計条件

排気筒の設計にあたり、安全側評価となるよう以下の水平地震力及び基準風速を設定した。

#### (1) 重要度分類を考慮した水平地震力

排気筒の耐震設計について、既許可において建物は 1.5  $C_i$  での耐震設計とすると記載されているため、排気筒は、建家と一体構造であることから同様に 1.5  $C_i$  での耐震設計とした。しかし、排気筒は煙突などの工作物に分類されるため、建築基準法施行令第3章第8節（構造計算）は適用されず、層せん断力係数  $C_i$  の適用を受けない。そのため、建築基準法の工作物の基準に準じて水平震度  $k$  を用いることとした。排気筒の耐震重要度分類が耐震 B クラス相当であるため、地震力が 1.5 倍であることから、水平震度は 1.5  $k$  として計算を行う。なお、 $C_i$  とは層せん断力係数といい、標準せん断力係数を 0.2 として建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値である。

#### (2) 波及的影響を考慮した水平地震力

波及的影響を考慮した設計について、(1)に示すとおり層せん断力係数  $C_i$  の適用を受けないため水平震度  $k$  を用いることとなる。鋼板部の倒壊範囲内に耐震 S クラス相当の施設があることから、地震力を 3.0 倍とし、水平震度 3.0  $k$  で計算を行う。

RC 部については、倒壊した場合の波及的影響はないため、耐震重要度分類を耐震 B クラス相当として、地震力を 1.5 倍し、水平震度 1.5  $k$  で計算を行う。

#### (3) 基準風速

風荷重の算出に用いる基準風速  $V_0$  は、建築基準法によると茨城県大洗町では 34 m/s となるため、基準風速  $V_0$  の 34 m/s に安全率 1.5 を乗じた「51.0 m/s」を用いて風荷重を評価した。

## 4. 原因究明に係る対策

### 4.1 アンカーボルトの減肉に係る原因

排気筒のアンカーボルトの原因を調査するため、「ホットラボ排気筒に係る原因調査専門部会」が設置され、現場調査により、雨水がベースプレート下に染み込むことにより、高湿潤環境を形成し、排気の流れや天候によって乾湿が繰り返されて腐食が促進されたことが原因であると結論付けられた。今回発生した腐食発生の概念図を図 4-1 に示す。このため、排気筒の設置にあたっては、以下の点について考慮することとした。

- ① 雨水がベースプレート及びアンカーボルトに直接触れない構造とする。
- ② 排気筒を支える脚部を維持するために、適切な保全活動の実施ができる構造とする。

### 4.2 原因究明による排気筒の設計への反映

アンカーボルトの腐食を防止する対策として、以下のように排気筒の設計に反映した。下記の対応により、アンカーボルトの腐食発生に係る直接的原因である高湿潤環境をなくし、かつ、内部の定期的な点検を容易にできる構造とした。

- ① アンカーボルトをコンクリートで覆い、かつ、コンクリート上部に笠木、勾配を設け、直接雨水と触れることのない構造とした。また、コンクリート及び鋼板部に防水、防錆、除染性

を考慮した塗装を行った。脚部のアンカーボルト腐食防止対策概略図を図 4-2 に示す。

- ② 鋼板部に点検口を設置した。

## 5. 計算結果及び考察

本設計では、建築基準法については重要度分類を考慮した水平地震力及び風荷重を、煙突構造設計指針については風方向荷重等の荷重を求め、地震力と風荷重による荷重の比較を行った。この結果、排気筒にかかる力は風荷重よりも地震力の方が大きい(付録 1)ことから、地震力に対する排気筒の各部材の強度評価を行った。強度評価した排気筒及び排気ダクトの寸法概略図を図 5-1 に、脚部の概略図を図 5-2 に示す。特に、鋼板部の荷重は鉄筋等を通じて地下部分まで伝達されることも考慮し、脚部の健全性、脚部から鉄筋までの力の伝達や径の異なる鉄筋間の力の伝達まで詳細な評価を行った。

水平地震力に対する評価は、鋼板部、脚部、RC 部及び排気ダクトで行った。鋼板部については、得られた結果より、最小鋼板板厚の算出も行った。なお、第 3 章の通り、自主的な対応として耐震 S クラス相当での評価を行うため、水平震度 3.0 k を用いた評価も行った。排気筒各部における短期許容応力度及び設計で用いる応力は、以下に示す基準等に記載されている計算式を用いた。

### 【鋼板部】

短期許容応力度：塔状鋼構造設計指針・同解説<sup>6)</sup>

応力：煙突構造設計指針

### 【オバリング】

最小鋼板板厚の検討：煙突構造設計施工指針<sup>7)</sup>

### 【脚部】

短期許容応力度：煙突構造設計指針

応力：煙突構造設計指針

### 【RC 部及び排気ダクト】

短期許容応力度：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<sup>8)</sup>

応力：煙突構造設計指針

鋼板部の強度評価結果を表 5-1 に示す。また、鋼板部のオバリングに対する検討結果を表 5-2 に示す。この結果、各評価位置において発生する応力に対し、各部材の短期許容応力以下であることを確認するとともに、最小鋼板板厚以上の板厚で設計されていることからオバリングによる変形も発生しないことを確認した。

脚部の強度評価結果を表 5-3 に示す。この結果、脚部を構成する各部材に係る応力に対し、それぞれ許容応力度以下であることを確認したことから鋼板部から伝達される荷重が脚部の各部材に伝達可能であることを確認した。

RC 部及び排気ダクトの強度評価結果を表 5-4 に示す。この結果、全ての項目において許容値以下であったことから鋼板部及び脚部から伝達されてきた荷重がそれぞれ鉄筋やコンクリートを通

じ伝達されることを確認した。

次に、原因究明の結果から、鋼板部に点検のための開口部を設置することとなった。鋼板部の開口部の概略図を図 5-3 に示す。設計において、鋼板部に点検口とダクトの 2 か所の開口部を設けることとなり、その部分の座屈の評価を行った。鋼板部の開口部における短期許容応力度及び設計で用いる応力は、以下に示す基準等に記載されている計算式を用いた。

#### 【鋼板部の開口部】

短期許容応力度：煙突構造設計指針

応力：煙突構造設計指針

鋼板部の開口部の強度評価結果を表 5-5 に示す。この結果、各評価位置において発生する応力に対し、短期許容応力以下であることを確認したため、2 か所の開口部において座屈が発生しないことを確認した。

一方、アンカーボルトの腐食防止対策として、図 4-2 に示すようにアンカーボルトをコンクリートで覆い、防水塗装を施す設計を採用した。

以上から、取替える排気筒について、各部材に要求される強度を有し、かつ、原因究明に係る対策を施した設計を行うことができた。

## 6. まとめ

本設計では、排気筒で発生したアンカーボルトの腐食を防ぐため、アンカーボルト部分をコンクリートで覆い、防水塗装を施し、直接雨水と触れて腐食することのない構造とした。また、点検口を設け定期的に排気筒内部の状況も確認できるようになったためアンカーボルトを覆っているコンクリート等の異常も早期発見できるようになった。本設計により排気筒の強度評価において問題のないことを確認できたことから、原子力規制庁による施設検査の対応について、見通しを得ることができた。

本基本設計に基づいて、ホットラボ排気筒の取替工事を実施し、平成 30 年 3 月 28 日に竣工し、その後、施設検査に合格した。

## 謝辞

本報告書をまとめるにあたり、大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部 那珂通裕氏(元ホットラボ課長)に有意義なご指導及びご助言を頂きました。また、本設計及び工事計画の検討にあたっては、共通事業組織 建設部 塩谷功氏及び大洗研究所 管理部 工務課 鈴木靖信氏にご助言及びご協力を頂きました。さらに、大洗研究所 環境技術開発センター 材料試験炉部 ホットラボ課各位にも多大なご協力を頂きました。ここに明記し、謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 柴田 晃, 北岸 茂, 渡士 克己, 松井 義典, 近江 正男, 相沢 静男, 那珂 通裕, 材料試験炉ホットラボ排気筒におけるアンカーボルト減肉及びフランジプレートとアンカーボルトナット間の隙間に関する原因調査, 日本保全学会, 第 13 回学術講演会要旨集, 2016, pp. 290-297.
- 2) 原子力規制庁, 核燃料施設等における新規規制基準の適用の考え方, (平成 25 年 11 月 6 日), <https://www.nsr.go.jp/data/000069184.pdf> (参照: 2021 年 11 月 30 日).
- 3) 日本建築学会, 煙突構造設計指針, 2007, 318p.
- 4) 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 大洗研究開発センター 照射試験炉センター, JMTR 照射試験・照射後試験に関する技術レビュー, JAEA-Review 2017-016, 2017, pp. 17-21.
- 5) 日本電気協会, 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008), 2008, p. 23, p. 62.
- 6) 日本建築学会, 塔状鋼構造設計指針・同解説, 1980, pp. 75-79.
- 7) 日本建築センター, 煙突構造設計施工指針, 1982, 262p.
- 8) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010, 538p.

表 3-1 工事の技術上の基準への適合性

工事の技術上の基準		適合の有・無
第 1 号	臨界安全	無
第 2 号	耐震上の安全	有
第 3 号	容器又は管の耐圧、漏えい	無
第 4 号	セル等の負圧維持	無
第 5 号	セル等の密閉構造	無
第 6 号	セル等からの液体の漏えい防止構造	無
第 7 号	フード開口部の風速の維持	無
第 8 号	汚染のおそれのある室の負圧維持機能	無
第 9 号	液体の施設外への漏えい防止構造	無
第 10 号	しゃへい構造	無
第 11 号	警報装置の機能	有
第 12 号	廃棄施設の廃棄能力及び構造	有
第 13 号	非常用動力源その他の非常用安全装置の機能	無
第 14 号	使用変更許可申請書の記載事項及び許可条件	無

表 5-1 鋼板部の強度評価結果

評価位置	高さ GL+ (m)	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	合成応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
F	34.0	180.1	12.0
E	28.0	173.2	37.0
D	22.0	194.4	49.3
C	16.0	189.3	76.8
B	10.0	207.1	78.1
A	6.505	216.1	79.4

表 5-2 鋼板部のオバリングに対する検討結果

評価位置	高さ GL+ (m)	鋼板部の板厚 (mm)	最小鋼板板厚 (mm)
F	34.0	9	4.2
E	28.0	9	4.5
D	22.0	12	4.9
C	16.0	12	5.3
B	10.0	16	5.7
A	6.505	19	5.9

表 5-3 脚部の強度評価結果

発生応力度	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )
アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張応力度	215	97.1
アンカーボルト 1 本当たりにかかるせん断応力度	161	5.0
アンカープレートにかかる圧縮応力度	14.0	3.4
アンカープレートにかかる曲げ応力度	375	97.0
周方向補強板にかかる曲げ応力度	235	33.3
周方向補強板にかかるせん断応力度	135	64.9
コンクリートの側面にかかるせん断応力度	1.05	0.35
ベースプレートにかかる組合せ応力度	14.0	3.9
ベースプレートにかかる曲げ応力度	271	99.8
フランジプレートにかかる曲げ応力度	375	91.4
リブプレートにかかる圧縮応力度	235	80.3
溶接部にかかるせん断応力度	135	58.2

表 5-4 RC 部及び排気ダクトの強度評価結果

発生応力度	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )
縦筋 (D38) 1 本当たりにかかる付着応力度	1.68	0.87
シアコネクタ (D16) 下部 1 本当たりにかかるせん断力	41.0*	15.9*
シアコネクタ (D16) 上部 1 本当たりにかかるせん断力	41.0*	6.8*
既設配筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度	1.64	0.61
定着金物付鉄筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度	1.68	0.72
定着金物付鉄筋 (D25) 1 本当たりにかかる引張力	116.1*	67.2*
許容引張時の頭部支圧応力度	123.5	44.5
定着板にかかる曲げ応力度	271	22.9

\* : kN

表 5-5 鋼板部の開口部の強度評価結果

位置	高さ GL+ (m)	記号の意味	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	
点検口	9.25	a 点	a 点にかかる座屈応力度	68.1	216.1
		b 点	b 点にかかる座屈応力度	106.3	216.1
	8.75	c 点	c 点にかかる座屈応力度	70.0	216.1
		d 点	d 点にかかる座屈応力度	109.5	216.1
ダクト	8.1	a 点	a 点にかかる座屈応力度	73.7	216.1
		b 点	b 点にかかる座屈応力度	105.7	216.1
	7.5	c 点	c 点にかかる座屈応力度	75.8	216.1
		d 点	d 点にかかる座屈応力度	108.9	216.1



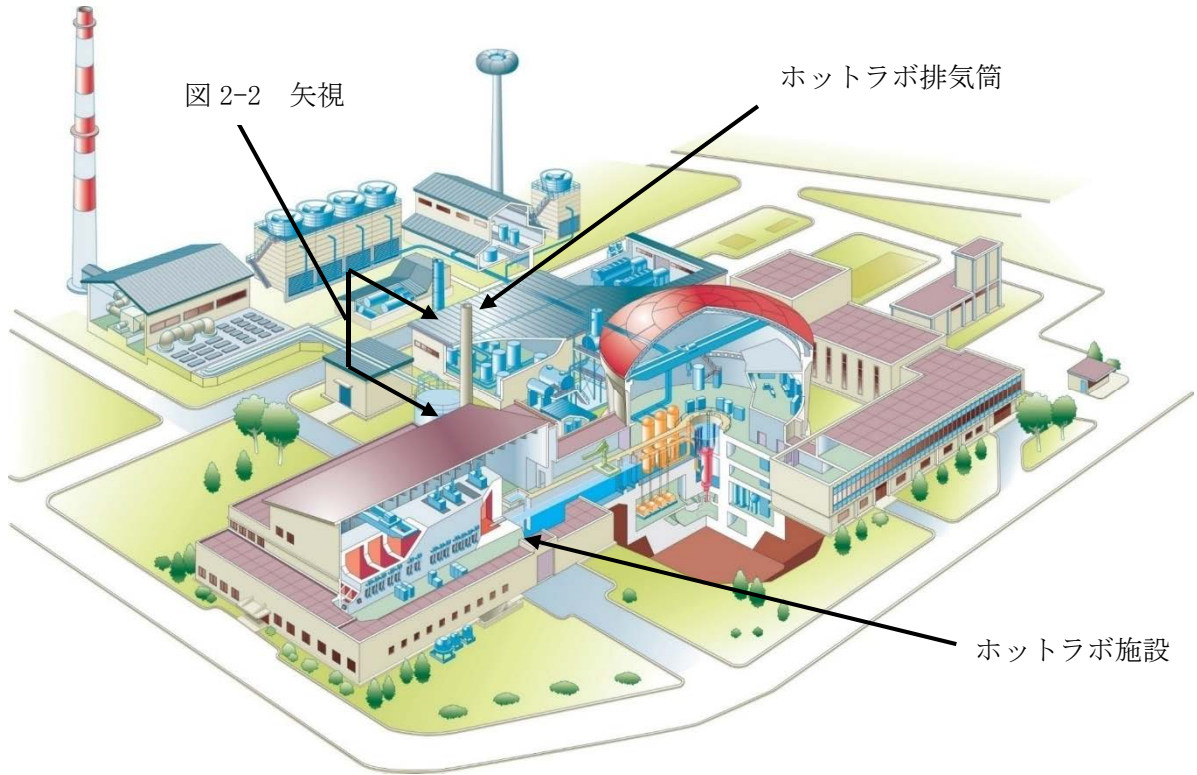


図 2-1 ホットラボ施設の鳥瞰図



図 2-2 旧排気筒の外観写真

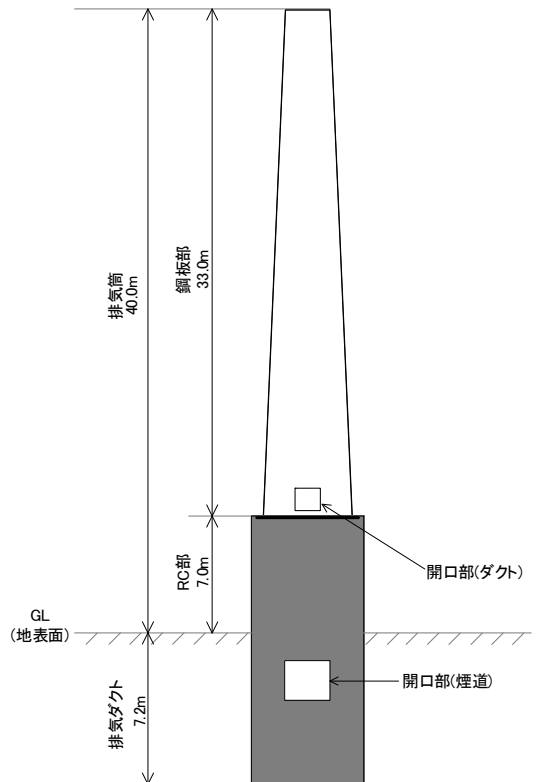


図 2-3 旧排気筒の概略図

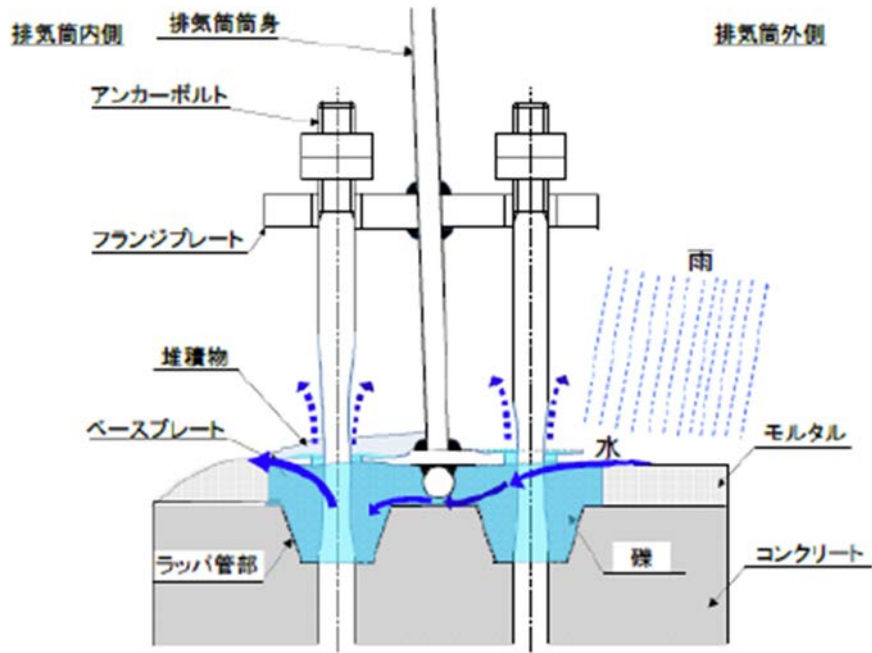


図 4-1 腐食発生の概念図

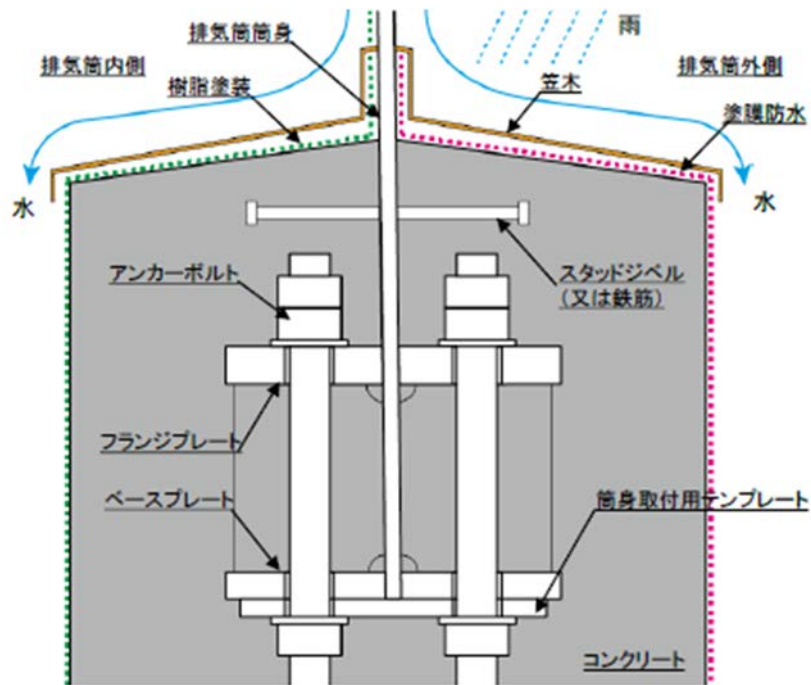


図 4-2 脚部のアンカーボルト腐食防止対策概略図

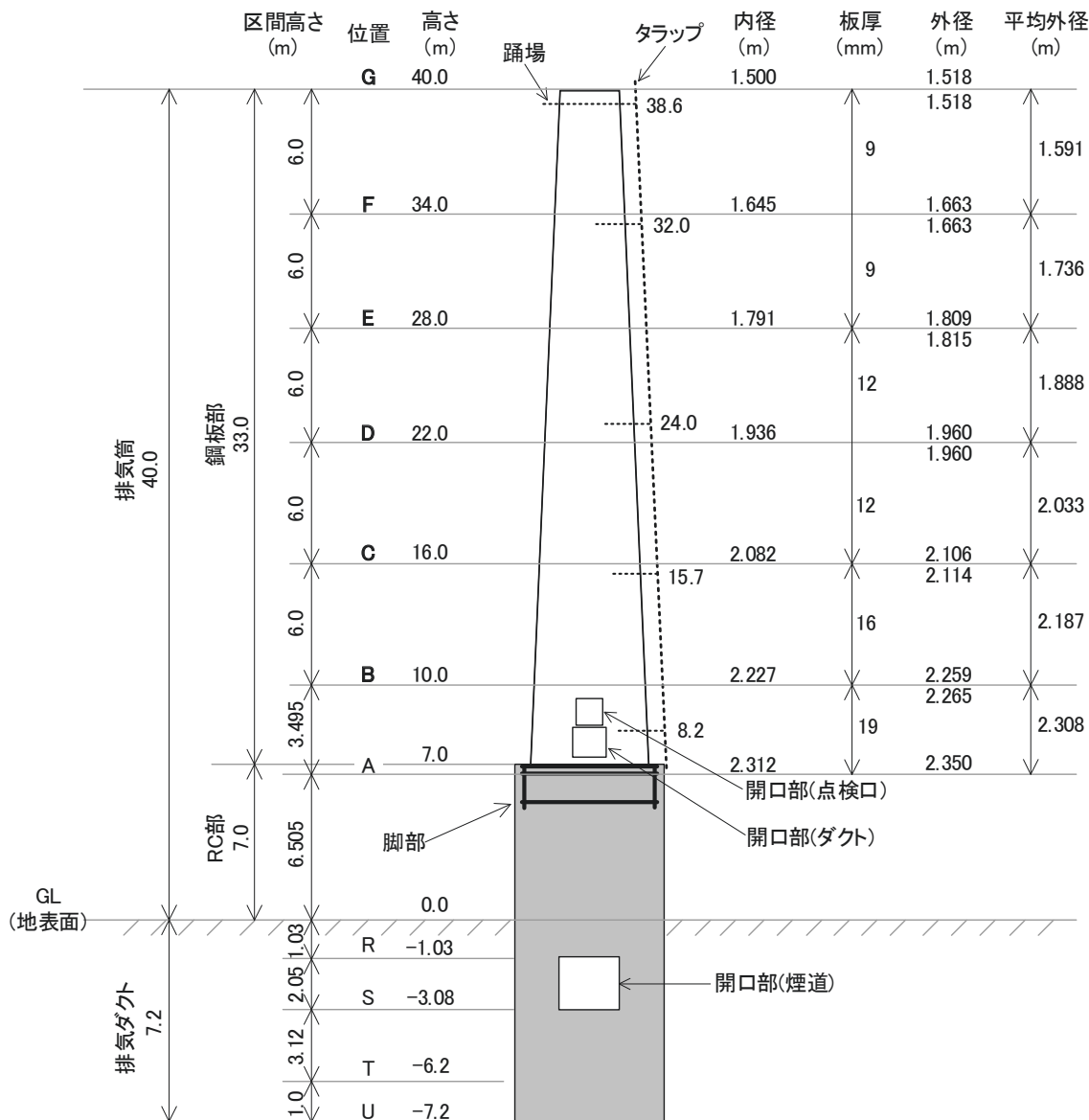


図 5-1 排気筒及び排気ダクトの寸法概略図

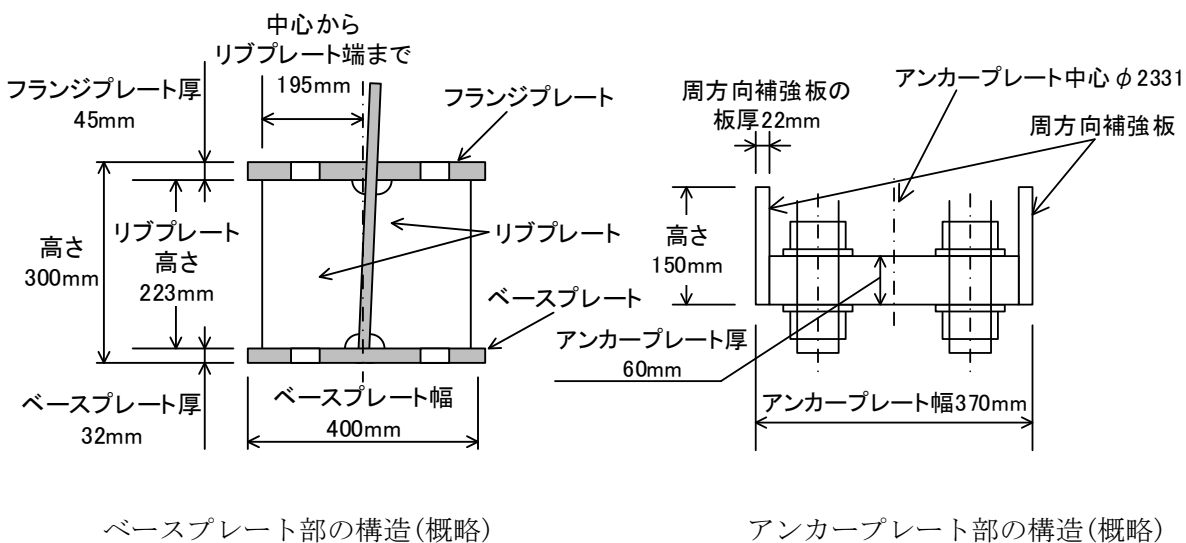
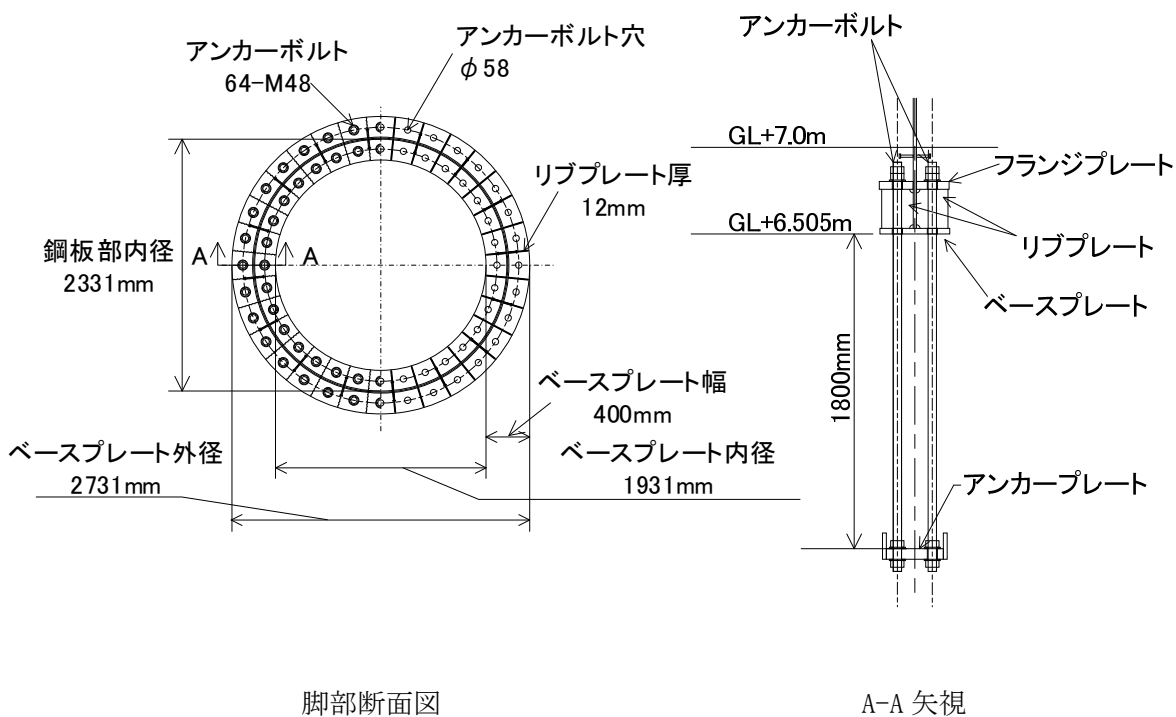
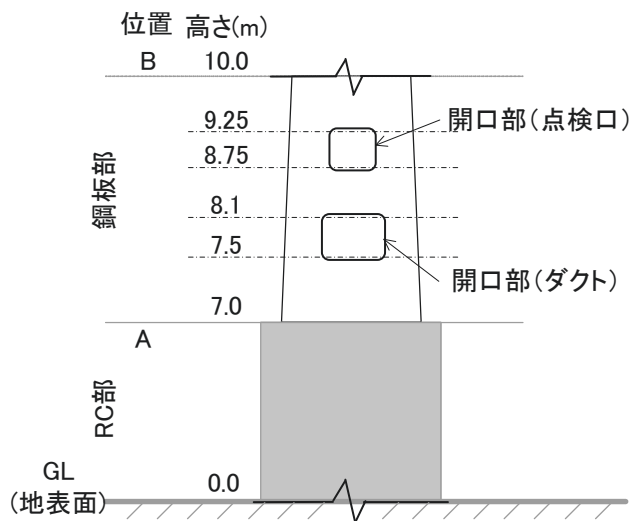
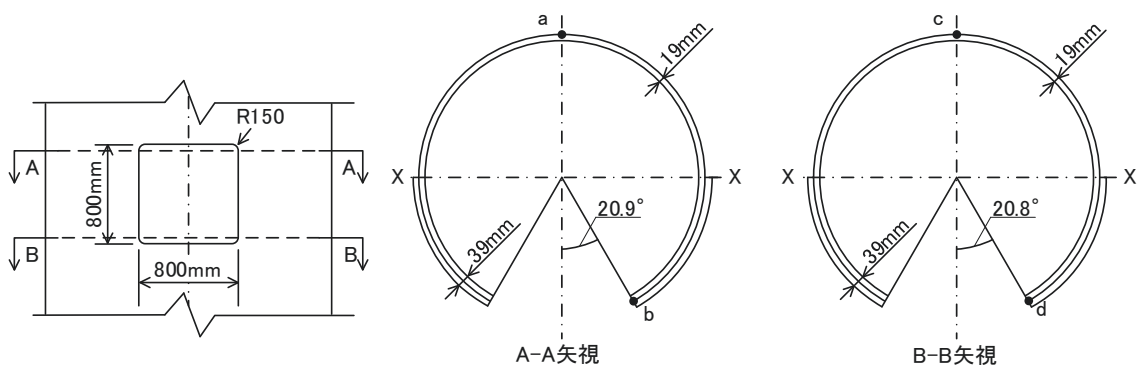


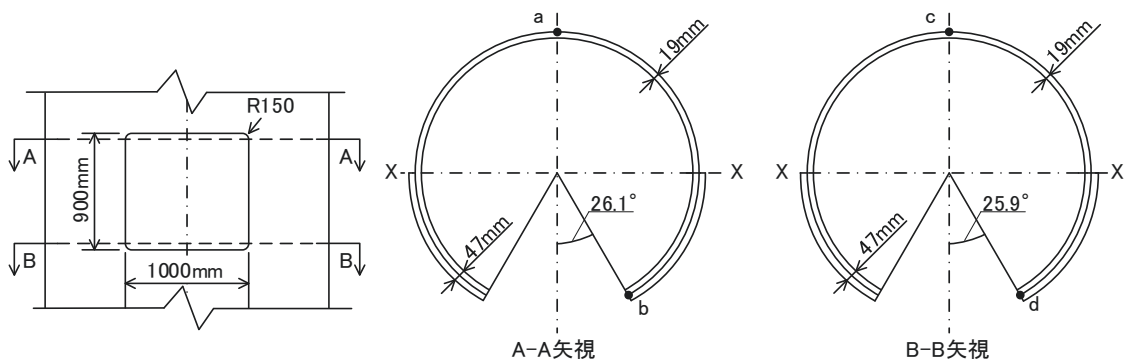
図 5-2 脚部の概略図



鋼板部の開口部の概略図



開口部(点検口)断面図



開口部(ダクト)断面図

図 5-3 鋼板部の開口部の概略図

This is a blank page.

## 付録1 ホットラボ排気筒の計算書

付録1では、2016年12月に提出したJMTRホットラボ排気筒取替工事に係る施設検査申請書の添付計算書に、計算書作成時の考え方や評価項目の流れがわかりやすいよう図等を追加し、わかりやすいようにまとめている。

目次

1. 排気筒の基本設計	19
1.1 設計方針	19
1.2 設計条件	19
2. 設計仕様	20
2.1 使用材料及び使用部位	21
2.2 材料の許容応力度	22
3. 応力計算	24
3.1 排気筒及び排気ダクトの重量	25
3.2 鋼板部の断面積及び断面係数	26
3.3 地震力	27
3.4 風荷重	31
3.5 荷重の集計	54
3.6 鋼板部の検討	57
3.7 鋼板部の開口部の検討	62
3.8 脚部の検討	75
3.9 RC部及び排気ダクトの検討	86
3.10 RC部及び排気ダクトの断面の検討	107
4. 各部に係る応力の計算結果	110
4.1 鋼板部に係る応力の計算結果	110
4.2 鋼板部の開口部に係る応力の計算結果	111
4.3 脚部に係る応力の計算結果	111
4.4 RC部及び排気ダクトに係る応力の計算結果	112
4.5 RC部及び排気ダクトの断面に係る応力の計算結果	113
5. 評価	113



## 1. 排気筒の基本設計

排気筒及び排気ダクトについて、地震力及び風荷重による外力に対し、健全性が確保されていることを確認するものである。

### 1.1 設計方針

本施設の排気筒及び排気ダクトに作用する地震力及び風荷重を用いて、各部に発生する応力度を算出し、これらの発生応力度が所定の許容応力度以内であることを確認する。また、排気筒は、隣接する耐震Sクラス施設（カナル室）への影響が出ないようにSクラス相当の外力に耐え得るよう設計を行うこととし、既設建物と一体構造であることから建物の要求性能と同等の耐震Bクラス(相当)で評価を行う。

### 1.2 設計条件

#### (1) 地震力

地震力に用いる設計震度は、平成12年建設省告示第1389号第1項第一号及び平成12年建設省告示第1449号第一第1項第二号より水平方向地震力の計算を行うための設計震度を設定する。また、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）「3.1.4.3 地震力の算定」を適用し、耐震Bクラス(相当)の割増係数（以下「Bクラス係数」という。）1.5を設計震度kに乘じることとする。

##### ① 排気筒鋼板部

排気筒鋼板部（以下「鋼板部」という。）は、屋上突出物として平成12年建設省告示第1389号第1項第一号より設計震度 $k = 1.0$ となり、これにBクラス係数1.5を乗じ、設計震度kを「1.5」に設定した。

##### ② 排気筒鉄筋コンクリート部

排気筒鉄筋コンクリート部（以下「RC部」という。）は、建築基準法施行令第138条(工作物の指定)より、「一 高さが六メートルを超える煙突」と記載があることから工作物と考え、平成12年建設省告示第1449号第一第1項第二号より設計震度 $k = 0.3Z(1 - (h/H))$ とした。ここで、地域係数Zは1、地盤面からの高さhは0となり、設計震度 $k = 0.3$ となる。これにBクラス係数1.5を乗じ、設計震度kを「0.45」に設定した。

##### ③ 排気ダクト

排気ダクトは、地下部であるため平成12年建設省告示第1449号第一第1項第二号より設計震度 $k = 0.1 \times (1 - h/40)$ とする。ここで、地盤面からの高さhによる設計震度を算出した後、Bクラス係数1.5を乗じ、設計震度kを設定した。

各位置の設計震度kを以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	各位置の 設計震度	Bクラス係数	設計震度 k
R	-1.03	0.098	1.5	0.15
S	-3.08	0.093	1.5	0.14
T	-6.2	0.085	1.5	0.13
U	-7.2	0.082	1.5	0.13

(2) 風荷重

以下に示す風荷重について、建築基準法及び煙突構造設計指針を基に算出した。

- ・ 建築基準法による風荷重
- ・ 煙突構造設計指針による風方向荷重
- ・ 煙突構造設計指針による風直交方向荷重
- ・ 煙突構造設計指針による組合せ風荷重

風荷重の算出に用いる基準風速  $V_0$  は、建築基準法によると茨城県大洗町では 34 m/s となるが、気象庁の気象データによると 1939 年 8 月 5 日に茨城県水戸市にて 44.2 m/s の最大瞬間風速が発生した事例があることから、本計算書では、基準風速  $V_0$  の 34 m/s に安全率 1.5 を乗じた「51.0 m/s」を用いて風荷重を求めるものとした。また、平成 12 年建設省告示第 1454 号第一第 2 項より地表面粗度区分はⅢとした。

(3) 評価方法

排気筒及び排気ダクトに地震力及び風荷重を負荷した時、各評価位置のせん断力及び曲げモーメントによって発生する応力度を算出し、許容応力度との比較を行い、構造上必要な強度を有していることを確認する。評価における記号及び端数処理について表 1 に示す。

2. 設計仕様

排気筒は、鋼板部及び RC 部で構成され、鋼板部には点検用及びダクト接続用の 2 つの開口部がある。また、鋼板部の脚部（以下「脚部」という。）は、アンカープレート、ベースプレート、フランジプレート、リブプレート、アンカーボルト等から構成され、RC 部に埋め込まれている。

なお、鋼板部は GL+7.0 m までとなるが筒身は GL+6.505 m までであるため、計算上は GL+6.505 m までを鋼板部とする。

排気ダクトには、煙道と接続するための開口部がある。

排気筒及び排気ダクトの寸法概略図を図 2-1 に、排気筒開口部の概略図を図 2-2 に、脚部の概略図を図 2-3 に、RC 部及び排気ダクトの概略図を図 2-4 に示す。

2.1 使用材料及び使用部位

排気筒及び排気ダクトの使用材料と使用部位を以下に示す。

(1) コンクリート

使用部位	設計基準強度	規格
RC 部及び排気ダクト	21N/mm <sup>2</sup>	JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート)

なお、既設躯体のコンクリートの設計基準強度は、210kg/cm<sup>2</sup>の単位を換算した 20.59 N/mm<sup>2</sup>である。

(2) 鉄筋

使用部位	材質	規格	呼び名
RC 部及び排気ダクト	SD295A	JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼)	D16
RC 部及び排気ダクト	SD345	JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼)	D25 D38

なお、既設躯体の鉄筋の呼び名は D13 及び D25 である。

(3) 鋼材

使用部位	材質	規格	板厚
鋼板部	SS400	JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	図 2-1 参照
アンカープレート	*1	*1	60 mm
ベースプレート	SS400	JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	32 mm
フランジプレート	*1	*1	45 mm
リブプレート	SS400	JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	12 mm
周方向補強板	SS400	JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	22 mm
開口補強プレート (点検口)	SS400	JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	20 mm
開口補強プレート (ダクト)	SS400	JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	28 mm
定着金物	*2	*2	22 mm <sup>*3</sup>

\*1：国土交通大臣の認定を受けた建築構造用 TMCP 鋼材のうち降伏点又は耐力が 325 N/mm<sup>2</sup>以上のもの（以下「TMCP325C」という。）を用いる。

\*2：一般財団法人日本建築総合試験所の性能証明を取得した工法の材料による。

\*3：定着金物のうち定着板の板厚を示す。

(4) アンカーボルト

使用部位	材質	規格	呼び径
脚部	SNR400B	JIS G 3138(建築構造用圧延棒鋼)	M48

2.2 材料の許容応力度

(1) コンクリートの許容応力度

コンクリートについては、増し打ちを行うため、新設躯体及び既設躯体の許容応力度を求める。

① コンクリートの許容圧縮応力度及び許容せん断応力度の算出方法

コンクリートの長期許容圧縮応力度及び長期許容せん断応力度は、建築基準法施行令第91条第1項に示されている以下の式により求める。

長期許容圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	長期許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
F/3	F/30

コンクリートの短期許容応力度は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(以下「RC規準」という。)[6条 許容応力度]より圧縮応力度は2倍、せん断応力度は1.5倍であるため、以下の式により求める。

短期許容圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
F/3×2	F/30×1.5

② コンクリートの許容付着応力度の算出方法

コンクリートの長期許容付着応力度は、平成12年建設省告示第1450号第一第1項第一号に示されている以下の式により求める。

はりの上端における 長期許容付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	その他の位置における 長期許容付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
(1/15)×F	(1/10)×F

コンクリートの短期許容付着応力度は、RC 規準「6 条 許容応力度」より長期許容応力度の 1.5 倍であるため、以下の式により求める。

はりの上端における 短期許容付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	その他の位置における 短期許容付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$(1/15) \times F \times 1.5$	$(1/10) \times F \times 1.5$

コンクリートの許容応力度の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
F	新設躯体コンクリートの設計基準強度	21	N/mm <sup>2</sup>
	既設躯体コンクリートの設計基準強度	20.59	N/mm <sup>2</sup>

③ コンクリートの許容応力度の計算結果

コンクリート強度コンクリートの許容応力度を以下に示す。

種類	長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )				短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	圧縮	せん断	付着		圧縮	せん断	付着	
			はりの上端	その他			はりの上端	その他
Fc21	7.0	0.70	1.40	2.10	14.0	1.05	2.10	3.15
Fc20.59	6.8	0.68	1.37	2.05	13.7	1.02	2.05	3.08

### 3. 応力計算

応力の評価は以下の手順により行う。

- ① 評価に用いる重量、断面積及び断面係数の算出
- ② 荷重の設定（地震力、風荷重を比較し、最大となる荷重を設定する。）
- ③ 各部位に発生する応力の算出

本項目で行う各部位に発生する応力を以下にまとめる。また、図 3-1 に発生応力概略図を示す。各項目の評価の詳細はその節ごとに記載する。

評価箇所		検討応力	節番号			
鋼 板 部	筒身	鋼板	・合成応力（軸力+曲げ） ・オバリング	3.6 (1) (2) 3.6 (3)		
		開口部	・合成応力（軸力+曲げ）	3.7		
		脚部	アンカーボルト	・引張応力 ・せん断応力	3.8 (2) ① 3.8 (2) ②	
	アンカープレート		・圧縮応力 ・曲げ応力	3.8 (3) ② 3.8 (3) ③		
			アンカープレートの 周方向補強板	・曲げ応力 ・せん断応力 ・せん断応力（コンクリートの側面）	3.8 (3) ④ 3.8 (3) ⑤ 3.8 (3) ⑥	
	ベースプレート			・組合せ応力（軸力+曲げ） ・曲げ応力	3.8 (4) ① 3.8 (4) ②	
				フランジプレート	・曲げ応力	3.8 (5) ①
	リブプレート		・圧縮応力	3.8 (6) ①		
	リブプレートの溶接部		・せん断応力	3.8 (7) ①		
	R C 部 及 び 排 気 ダ クト		鉄筋	縦筋（D38）	・アンカーボルトの引張力 ・付着応力	3.9 (2) 3.9 (3)
				シアコネクタ上部	・せん断力	3.9 (6)
				シアコネクタ下部	・せん断力	3.9 (4)
		既設配筋（D25）		・付着応力	3.9 (7)	
定着金物付鉄筋（D25）		・付着応力		3.9 (8)		
定着板		・引張応力（頭部支圧応力度） ・曲げ応力		3.9 (10) 3.9 (11)		
		コンクリート	・圧縮応力 ・引張応力 ・せん断（鉄筋）	3.10 (3) 3.10 (3) 3.10 (3)		

3.1 排気筒及び排気ダクトの重量

排気筒及び排気ダクトの各位置における区間重量及び積算重量を算出する。重量の算出は筒身等の主要構造物だけでなく、付属するタラップ等の重量も考慮する。

各位置における重量を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	筒身 (kN)	タラップ (kN)	踊り場 (kN)	筒身内部 の部材 (kN)	区間重量 Wi (kN)	積算重量 Wa (kN)
G	40.0	—	—	—	—	—	—
F	34.0	21.9	2	9.5	2.9	36.3	36.3
E	28.0	22.6	2	3.6	1.8	30.0	66.3
D	22.0	34.1	2	3.4	1.9	41.4	107.7
C	16.0	35.3	2	—	2.0	39.3	147.0
B	10.0	52.0	2	3.6	8.1	65.7	212.7
A	6.505	37.8	1.2	3.4	53.3	95.7	308.4
RC 部	0.0	1706	2.7	1.2	—	1710	2019
R	-1.03	259.2	—	—	—	259.2	2279
S	-3.08	447.6	—	—	—	447.6	2727
T	-6.2	785.1	—	—	—	785.1	3513
U	-7.2	384.0	—	—	—	384.0	3897

3.2 鋼板部の断面積及び断面係数

鋼板部の断面積及び断面係数の算出に用いる板厚は、煙突構造設計施工指針「2.3 鋼製煙突 5) 排ガスに対する構造体の保護」に基づき、腐食代 2 mm を考慮した有効板厚  $t_e$  とする。

(1) 鋼板部の断面積の算出方法

鋼板部の断面積  $A_e$  は、機械工学便覧「10.1 面積及び体積」に示されている以下の式により求める。

$$A_e = \pi (OD^2 - IDe^2) / 4$$

記号	記号の意味及び計算式	単位
$A_e$	断面積	$mm^2$
OD	外径	mm
IDe	内径(腐食代を考慮) $IDe = OD - 2 \times t_e$	mm
$t_e$	有効板厚	mm
$\pi$	円周率 (3.141592654)	—

(2) 鋼板部の断面係数の算出方法

鋼板部の断面係数  $Z_e$  は、機械工学便覧「3.2 断面二次モーメントおよび断面係数表 3・1」に示されている以下の式により求める。

$$Z_e = \pi / 32 \times (OD^4 - IDe^4) / OD$$

記号	記号の意味	単位
$Z_e$	断面係数	$mm^3$



(3) 鋼板部の断面積及び断面係数の計算結果

鋼板部の各位置における断面積及び断面係数を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	外径 OD (mm)	内径 IDe (mm)	板厚 ti (mm)	有効板厚 te (mm)	断面積 Ae (mm <sup>2</sup> )	断面係数 Ze (mm <sup>3</sup> )
G	40.0	1518	1504	9	7	3.322×10 <sup>4</sup>	1.249×10 <sup>7</sup>
F	34.0	1663	1649	9	7	3.641×10 <sup>4</sup>	1.501×10 <sup>7</sup>
E	28.0	1809	1795	9	7	3.962×10 <sup>4</sup>	1.778×10 <sup>7</sup>
D	22.0	1960	1940	12	10	6.126×10 <sup>4</sup>	2.971×10 <sup>7</sup>
C	16.0	2106	2086	12	10	6.584×10 <sup>4</sup>	3.434×10 <sup>7</sup>
B	10.0	2259	2231	16	14	9.874×10 <sup>4</sup>	5.507×10 <sup>7</sup>
A	6.505	2350	2316	19	17	1.245×10 <sup>5</sup>	7.215×10 <sup>7</sup>

3.3 地震力

(1) 地震力

① 地震力の算出方法

各位置における地震力Pは、「1.2 設計条件 (1) 地震力」で設定した設計震度を用いて、平成12年建設省告示第1389号第1項第一号に示されている以下の式により求める。

$$P = k \times W_i$$

記号	記号の意味	単位
P	地震力	kN
k	「1.2 設計条件 (1) 地震力」で設定した設計震度	—
Wi	区間重量	kN

## ② 地震力の計算結果

各位置における地震力を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	設計震度 k	区間重量 Wi (kN)	地震力 P (kN)
G	40.0	—	—	0.0
F	34.0	1.5	36.3	54.5
E	28.0	1.5	30.0	45.0
D	22.0	1.5	41.4	62.1
C	16.0	1.5	39.3	59.0
B	10.0	1.5	65.7	98.6
A	6.505	1.5	95.7	143.6
RC部	0.0	0.45	1710	769.5
R	-1.03	0.15	259.2	38.9
S	-3.08	0.14	447.6	62.7
T	-6.2	0.13	785.1	102.1
U	-7.2	0.13	384.0	50.0

(2) 地震力によるせん断力及び曲げモーメント

① せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $Q_p$  及び曲げモーメント  $M_p$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表 3・2 はりの図表」より導出した以下の式により求める。

$$Q_p = P$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + \Sigma Q_{p(i-1)}$$

$$M_p = Q_p \times h_a + \Sigma Q_{p(i-1)} \times h_i$$

$$\Sigma M_p = M_p + \Sigma M_{p(i-1)}$$

記号	記号の意味	単位
$Q_p$	せん断力	kN
$M_p$	曲げモーメント	kN・m
$\Sigma Q_p$	積算せん断力	kN
$\Sigma M_p$	積算曲げモーメント	kN・m
$h_a$	各位置から重心までの高さ	m
$h_i$	区間高さ	m
$\Sigma Q_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算せん断力	kN
$\Sigma M_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算曲げモーメント	kN・m

② せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置におけるせん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ $h_i$ (m)	重心 高さ $h_a$ (m)	地震力 P (kN)	せん断力		曲げモーメント	
					$Q_p$ (kN)	$\Sigma Q_p$ (kN)	$M_p$ (kN・m)	$\Sigma M_p$ (kN・m)
G	40.0	—	—	0.0	0.0	0.0	0	0
F	34.0	6.0	3.0	54.5	54.5	54.5	164	164
E	28.0	6.0	3.0	45.0	45.0	99.5	462	626
D	22.0	6.0	3.0	62.1	62.1	161.6	784	1410
C	16.0	6.0	3.0	59.0	59.0	220.6	1147	2557
B	10.0	6.0	3.0	98.6	98.6	319.2	1620	4177
A	6.505	3.495	1.748	143.6	143.6	462.8	1367	5544

b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ hi (m)	重心 高さ ha (m)	地震力 P (kN)	せん断力		曲げモーメント	
					Q <sub>p</sub> (kN)	ΣQ <sub>p</sub> (kN)	M <sub>p</sub> (kN・m)	ΣM <sub>p</sub> (kN・m)
RC 部	0.0	6.505	3.5	769.5	769.5	1233	5704	11250
R	-1.03	1.03	0.515	38.9	38.9	1272	1291	12550
S	-3.08	2.05	1.025	62.7	62.7	1335	2672	15230
T	-6.2	3.12	1.56	102.1	102.1	1438	4325	19560
U	-7.2	1.0	0.5	50.0	50.0	1488	1463	21030

### 3.4 風荷重

#### 3.4.1 建築基準法による風荷重

建築基準法による風荷重  $P_w$  は、次に示す各係数等を算出した後、建築基準法施行令第 87 条第 1 項に基づき計算により求める。

##### (1) 風力係数

###### ① 風力係数の算出方法

鋼板部の風力係数  $C_D$  は、平成 12 年建設省告示第 1454 号第三第 1 項表 9 を参考に下表から求める。

H/Bg	(1)	(2)	(3)
	1 以下の場合	1 を超え 8 未満の場合	8 以上の場合
$C_D$	0.7 kz	(1) と (3) とに揚げる数値を直線的に補間した数値	0.9 kz

排気筒の高さ  $H$  は 40 m、排気筒の風向きに対する見付幅  $B_g$  は 2.35 m であることから、 $H/B_g$  は 17.02 となるため、風力係数  $C_D$  を「0.9 kz」に設定する。

RC 部の風力係数  $C_D$  は、平成 12 年建設省告示第 1454 号第三表 1 を参考に下表から求める。

部位	風上壁面	風下壁面
数値	0.8 kz	-0.4

正圧側となる風上側 0.8 kz と負圧側となる風下側 0.4 を足し合わせ、風力係数  $C_D$  を「0.8 kz+0.4」に設定する。

ここで、分布係数  $k_z$  は、平成 12 年建設省告示第 1454 号第三第 2 項を参考に下表の式から求める。

kz	$H \leq Z_b$		1.0
	$H > Z_b$	$h \leq Z_b$	$(Z_b/H)^{2\alpha}$
		$h > Z_b$	$(h/H)^{2\alpha}$

分布係数  $k_z$  の算出には、平成 12 年建設省告示第 1454 号第一第 2 項の地表面粗度区分Ⅲを参考に下表の数値を用いる。また、 $h$  とは地盤面からの高さであり、求める区間の中心の高さとなる。

記号	記号の意味	数値	単位
Zb	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ	5	m
Z <sub>G</sub>	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ	450	m
$\alpha$	風速の鉛直分布のべき指数	0.2	—

② 風力係数の計算結果

各位置における風力係数を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	地盤面からの高さ h (m)	区間高さ h <sub>i</sub> (m)	分布係数 k <sub>z</sub>	風力係数 C <sub>D</sub>
G	40.0	—	—	—	—
F	34.0	37	6.0	0.970	0.88
E	28.0	31	6.0	0.904	0.82
D	22.0	25	6.0	0.829	0.75
C	16.0	19	6.0	0.743	0.67
B	10.0	13	6.0	0.638	0.58
A	6.505	8.253	3.495	0.532	0.48
RC 部	0.0	3.253	6.505	0.436	0.75

(2) 速度圧

① 速度圧の算出方法

速度圧  $q_z$  は、建築基準法施行令第 87 条第 2 項に示されている以下の式により求める。

$$q_z = 0.6 \times E_m \times V_0^2$$

記号	記号の意味	数値	単位
$q_z$	速度圧	3601	N/m <sup>2</sup>
$V_0$	基準風速	51.0	m/s

ここで、風速の鉛直分布係数  $E_m$  は、平成 12 年建設省告示第 1454 号第一第 1 項に示されている以下の式により求める。

$$E_m = E_r^2 \times G_f$$

記号	記号の意味	数値	単位
$E_m$	風速の鉛直分布係数	2.307	—
$E_r$	平均風速の高さ方向の分布を表す係数	1.048	—
$G_f$	ガスト影響係数	2.1	—

ここで、平均風速の高さ方向の分布を表す係数  $E_r$  は、平成 12 年建設省告示第 1454 号第一第 2 項を参考に下表の式から求める。

$H \leq Z_b$	$E_r = 1.7 \times (Z_b/Z_G)^\alpha$
$H > Z_b$	$E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$

上記から、排気筒の高さ  $H$  は 40 m、地表面粗度区分Ⅲで定める地表面からの高さ  $Z_b$  は 5 m であるため、算出式は、「 $E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$ 」となる。

ガスト影響係数  $G_f$  は、平成 12 年建設省告示第 1454 号第一第 3 項に示されている下表より求める。

H 地表面 粗度区分	(1)	(2)	(3)
	10 以下の場合	10 を超え 40 未満の場合	40 以上の場合
I	2.0	(1) と (3) とに揚げる数値 を直線的に補間した数値	1.8
II	2.2		2.0
III	2.5		2.1
IV	3.1		2.3

上記から、排気筒の高さは 40 m、地表面粗度区分Ⅲであることから、ガスト影響係数  $G_f$  は「2.1」となる。

(3) 建築基準法による風荷重

① 風荷重の算出方法

建築基準法による風荷重  $P_w$  は、建築基準法施行令第 87 条第 1 項に基づき以下の式により求める。

なお、風荷重の算出にはタラップ、踊り場の付属品への風荷重を考慮する。

$$P_w = C_D \times qz \times A_F$$

記号	記号の意味	単位
$P_w$	風荷重	kN
$A_F$	受風面積(見付面積)	$m^2$

風荷重  $P_w$  の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$C_D$	風力係数(付属品)	0.6	—
$qz$	速度圧	3601	$N/m^2$

ここで、風力係数(付属品)は、タラップ、踊り場の見付面積 6 割から 0.6 と設定した。

② 風荷重の計算結果

各位置における風荷重を以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ hi (m)	風力係数 (鋼板部) $C_D$	外径 OD (m)	平均 外径 OD' (m)	受風面積 $A_F$ ( $m^2$ )		風荷重 $P_w$ (kN)		
						鋼板部	付属品	鋼板部	付属品	合計
G	40.0	—	—	1.518	—	—	—	0.0	0.0	0.0
F	34.0	6.0	0.88	1.663	1.591	9.55	5.87	30.3	12.7	43.0
E	28.0	6.0	0.82	1.809	1.736	10.42	4.21	30.8	9.1	39.9
D	22.0	6.0	0.75	1.960	1.888	11.33	4.21	30.6	9.1	39.7
C	16.0	6.0	0.67	2.106	2.033	12.20	3.23	29.5	7.0	36.5
B	10.0	6.0	0.58	2.259	2.187	13.13	5.49	27.5	11.9	39.4
A	6.505	3.495	0.48	2.350	2.308	8.07	2.02	14.0	4.4	18.4



b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ GL+ (m)	区間高さ h <sub>i</sub> (m)	受風高さ h <sub>RC</sub> (m)	風力係数 (RC 部) C <sub>D</sub>	速度圧 q <sub>z</sub> (N/m <sup>2</sup> )	幅 B <sub>RC</sub> (m)	受風面積 (RC 部) A <sub>F</sub> (m <sup>2</sup> )	風荷重 (RC 部) P <sub>w</sub> (kN)
RC 部	0.0	6.505	7.0	0.75	3601	3.87	27.09	73.2
R	-1.03	1.03	—	—	—	—	—	—
S	-3.08	2.05	—	—	—	—	—	—
T	-6.2	3.12	—	—	—	—	—	—
U	-7.2	1.0	—	—	—	—	—	—

(4) 風荷重によるせん断力及び曲げモーメント

① せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $Q_w$  及び曲げモーメント  $M_w$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表 3・2 はりの図表」より導出した以下の式により求める。

$$Q_w = P_w$$

$$\Sigma Q_w = Q_w + \Sigma Q_{w(i-1)}$$

$$M_w = Q_w \times h_a + \Sigma Q_{w(i-1)} \times h_i$$

$$\Sigma M_w = M_w + \Sigma M_{w(i-1)}$$

記号	記号の意味	単位
$Q_w$	せん断力	kN
$\Sigma Q_w$	積算せん断力	kN
$M_w$	曲げモーメント	kN・m
$\Sigma M_w$	積算曲げモーメント	kN・m
$h_a$	各位置から重心までの高さ	m
$h_i$	区間高さ	m
$\Sigma Q_{w(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算せん断力	kN
$\Sigma M_{w(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算曲げモーメント	kN・m

② せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置におけるせん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ $h_i$ (m)	重心 高さ $h_a$ (m)	風荷重 (合計) $P_w$ (kN)	せん断力		曲げモーメント	
					$Q_w$ (kN)	$\Sigma Q_w$ (kN)	$M_w$ (kN・m)	$\Sigma M_w$ (kN・m)
G	40.0	—	—	0.0	0.0	0.0	0	0
F	34.0	6.0	3.0	43.0	43.0	43.0	129	129
E	28.0	6.0	3.0	39.9	39.9	82.9	378	507
D	22.0	6.0	3.0	39.7	39.7	122.6	617	1124
C	16.0	6.0	3.0	36.5	36.5	159.1	846	1970
B	10.0	6.0	3.0	39.4	39.4	198.5	1073	3043
A	6.505	3.495	1.748	18.4	18.4	216.9	726	3769

b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ	区間 高さ	重心 高さ	風荷重 (RC 部)	せん断力		曲げモーメント	
	GL+ (m)	hi (m)	ha (m)	Pw (kN)	Qw (kN)	$\Sigma Qw$ (kN)	Mw (kN・m)	$\Sigma Mw$ (kN・m)
RC 部	0.0	6.505	3.5	73.2	73.2	290.1	1668	5437
R	-1.03	1.03	0.515	—	0.0	290.1	299	5736
S	-3.08	2.05	1.025	—	0.0	290.1	595	6331
T	-6.2	3.12	1.56	—	0.0	290.1	906	7237
U	-7.2	1.0	0.5	—	0.0	290.1	291	7528

3.4.2 煙突構造設計指針による風方向荷重

煙突構造設計指針による風方向荷重  $W_D$  は、次に示す各係数等を算出した後、煙突構造設計指針「6.3 風方向荷重 6.3.1 算定式基本方針 自立型煙突」に基づき計算により求める。

(1) 速度圧

① 速度圧の算出方法

速度圧  $q_z$  は、煙突構造設計指針「6.2 風速および速度圧 6.2.1 速度圧」に示されている以下の式により求める。

$$q_z = 1/2 \times \rho_a \times U_z^2$$

記号	記号の意味	単位
$q_z$	速度圧	N/m <sup>2</sup>

速度圧  $q_z$  の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$\rho_a$	空気密度	1.22	kg/m <sup>3</sup>

ここで、設計風速  $U_z$  は、煙突構造設計指針「6.2 風速および速度圧 6.2.2 設計風速」に示されている以下の式により求める。

$$U_z = V_0 \times K_D \times E_z \times k_{rw}$$

記号	記号の意味及び計算式	単位
$U_z$	設計風速	m/s
$E_z$	風速の鉛直分布係数 $E_z = E_r \times E_g$	—
$E_r$	高さ方向の分布係数	—

設計風速  $U_z$  の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
$V_0$	基準風速	51.0	m/s
$K_D$	風向係数(水戸市 : 1)	1	—
$E_g$	小地形による風速の割り増し係数	1	—
$krw$	再現期間換算係数 $krw = 0.63(\lambda_U - 1) \ln \gamma - 2.9 \lambda_U + 3.9$	1.01	—
$\lambda_U$	$\lambda_U = U_{500}/V_0$	1.06	—
$\gamma$	設計用再現期間	100	年
$U_{500}$	地上 10 m における 10 分間平均風速の再現期間 500 年に対する値 ( $U_{500} = 36 \times 1.5$ ) : 茨城県大洗町	54.0	m/s

ここで、高さ方向の分布係数  $E_r$  は、煙突構造設計指針「6.2 風速および速度圧 6.2.5 風速の鉛直分布係数」に示されている以下の式により求める。

$Z_{ba} < h \leq Z_G$	$E_r = 1.7 \times (h/Z_G)^\alpha$
$h \leq Z_{ba}$	$E_r = 1.7 \times (Z_{ba}/Z_G)^\alpha$

ここで、高さ方向の分布係数  $E_r$  の算出には、煙突構造設計指針「6.2 風速および速度圧 6.2.5 風速の鉛直分布係数 表 6.4」の地表面粗度区分Ⅲに示されている下表の数値を用いる。また、 $h$  とは地盤面からの高さであり、求める区間の中心の高さとなる。

記号	記号の意味	数値	単位
$Z_{ba}$	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ	10	m
$Z_G$	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ	450	m
$\alpha$	風速の鉛直分布のべき指数	0.2	—

② 速度圧の計算結果

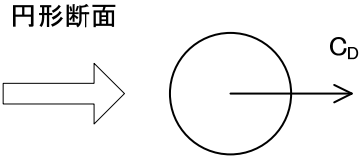
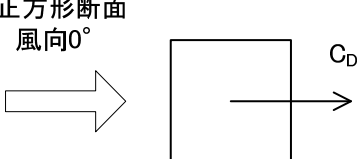
各位置における速度圧  $q_z$  を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	地盤面からの高さ h (m)	区間高さ h <sub>i</sub> (m)	鉛直分布係数 E <sub>z</sub>	設計風速 U <sub>z</sub> (m/s)	速度圧 q <sub>z</sub> (N/m <sup>2</sup> )
G	40.0	—	—	—	—	—
F	34.0	37	6.0	1.032	53.16	1724
E	28.0	31	6.0	0.996	51.31	1606
D	22.0	25	6.0	0.954	49.15	1474
C	16.0	19	6.0	0.903	46.52	1321
B	10.0	13	6.0	0.837	43.12	1135
A	6.505	8.253	3.495	0.794	40.90	1021
RC部	0.0	3.253	6.505	0.794	40.90	1021

(2) 風力係数

① 風力係数の算出方法

風力係数  $C_D$  は、煙突構造設計指針「6.3 風方向荷重 6.3.2 風力係数 表 6.9」より下表により求める。

鋼板部		RC部	
			
条件式	$C_D$	風向	$C_D$
$4.4 \geq U_z \times OD'$	1.2	0°	2.1
$4.4 < U_z \times OD' < 10.2$	線形補間		
$U_z \times OD' \geq 10.2$	0.7		

ここで、

記号	記号の意味	単位
$U_z$	地表面からの高さ h における設計風速	m/s
$OD'$	地表面からの高さ h における鋼板部の外径	m

② 風力係数の計算結果

各位置における条件式の確認を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	地盤面からの高さ h (m)	設計風速 U <sub>z</sub> (m/s)	平均外径 OD' (m)	U <sub>z</sub> ×OD'
G	40.0	—	—	—	—
F	34.0	37	53.16	1.591	84.57
E	28.0	31	51.31	1.736	89.07
D	22.0	25	49.15	1.888	92.79
C	16.0	19	46.52	2.033	94.57
B	10.0	13	43.12	2.187	94.30
A	6.505	8.253	40.90	2.308	94.39

上記から、各位置における  $U_z \times OD'$  は全て 10.2 を超えるため、風力係数  $C_D$  は「0.7」とする。RC 部は、風向  $0^\circ$  の風を想定し、荷重の計算を行うため、風力係数  $C_D$  は「2.1」とする。

(3) ガスト影響係数

① ガスト影響係数の算出方法

ガスト影響係数  $G_D$  は、煙突構造設計指針「6.3 風方向荷重 6.3.3 ガスト影響係数」に示されている以下の式により求める。

$$G_D = 1 + g_D (C' g / C_g) \times \phi D [1 + R_D]^{1/2}$$

ガスト影響係数  $G_D$  の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
$G_D$	ガスト影響係数	2.73	—
$g_D$	$g_D = [2 \times \ln(600 v_D) + 1.2]^{1/2}$	3.835	—
$C' g$	$C' g = 2 \times I_H / (\alpha + 3) \times [B_D]^{1/2}$	0.079	—
$C_g$	$C_g = 1 / (2\alpha + 3) - \lambda_B / (2\alpha + 4)$	0.214	—
$\phi D$	振動モード補正係数 $\phi D = (Ma / (5 \times Mp)) \times ((0.5 B_H / B_0 - 0.3) (\beta - 2) + 1.4) \times \lambda$	0.941	—
$R_D$	$R_D = (\pi / (4 \zeta D)) \times S_D \times Ff / B_D$	0.675	—
$v_D$	$v_D = f_L \times [R_D / (1 + R_D)]^{1/2}$	1.424	—
$I_H$	基準高さにおける乱れの強さ $I_H = I_{rH} \times E_{gI}$	0.184	—
$B_D$	$B_D = (1 - 3/4 \lambda_B)^2 \times 1 / (1 + (2[H \times B]^{1/2}) / L_H)$	0.468	—
$\lambda_B$	$\lambda_B = 1 - B_H / B_0$	0.355	—
$\lambda$	$\lambda = 1 - 0.4 \times \ln \beta$	0.723	—
$S_D$	$S_D = (1 - 3/4 \times \lambda_B)^2 \times 1 / ((1 + 3.5 \times f_L \times B / U_H) \times (1 + 2 \times f_L \times H / U_H))$	0.098	—
$Ff$	$Ff = (4 \times f_L \times L_H / U_H) / (1 + 71 \times (f_L \times L_H / U_H)^2)^{5/6}$	0.041	—
$B$	$B = (B_H + B_0) / 2$	1.934	—
$f_L$	一次固有振動数 $f_L = 1/T$	2.243	Hz
$I_{rH}$	平坦と見なせる状況での基準高さにおける乱れの強さ $I_{rH} = 0.1 \times (H/Z_G)^{-\alpha - 0.05}$	0.184	—
$L_H$	基準高さにおける乱れの強さと乱れのスケール $L_H = 100 \times (H/30)^{0.5} \quad (30 < H \leq Z_G)$	115.5	—
$U_H$	設計風速 $U_H = V_0 \times K_D \times E_H \times krw$	54.0	m/s
$T$	一次固有周期 $T = 0.057 \times [(Ma/1000) \times H_B^3 / (Es \times Ib)]^{1/2}$	0.446	s
$E_H$	風速の鉛直分布係数 $E_m$ の基準高さ $H$ における値 $E_H = E_r \times E_g$	1.048	—
$Ib$	鋼板部の底部の断面二次モーメント $Ib = \pi / 64 \times (Odb^4 - IDb^4)$	0.0946	m <sup>4</sup>
$E_r$	平坦と見なせる状況での $H$ の高さの風速の鉛直分布を表す係数 $E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$	1.048	—



記号	記号の意味	数値	単位
Ma	煙突地上部分の全質量	31450	kg
Mp	風方向振動の一般化質量	6766	kg
B <sub>H</sub>	煙突基準高さでの塔体幅	1.518	m
B <sub>0</sub>	煙突脚部での幅	2.350	m
$\beta$	振動モード形状を $\mu = (Z/H)^\beta$ の関数で示した時のべき指数	2.0	—
$\zeta D$	風方向の一次減衰定数	0.01	—
E <sub>g1</sub>	小地形による乱れの強さの補正係数	1	—
H <sub>B</sub>	鋼板部の全高さ	33.5	m
E <sub>s</sub>	鋼板部のヤング率(SS400)	$2.05 \times 10^5$	N/mm <sup>2</sup>
H	基準高さ	40.0	m
OD <sub>b</sub>	鋼板底部における煙突の外径	2.350	m
ID <sub>b</sub>	鋼板底部における煙突の内径	2.312	m

② ガスト影響係数の計算結果

上記から、ガスト影響係数  $G_D$  は「2.73」となる。

(4) 煙突構造設計指針による風方向荷重

① 風方向荷重の算出方法

煙突構造設計指針による風方向荷重  $W_D$  は、煙突構造設計指針「6.3 風方向荷重 6.3.1 算定式基本方針 自立型煙突」に示されている以下の式により求める。

$$W_D = q_z \times C_D \times G_D \times A_F$$

記号	記号の意味	単位
$W_D$	風方向荷重	kN
$q_z$	速度圧	N/m <sup>2</sup>
$A_F$	受風面積(見付面積)	m <sup>2</sup>

風方向荷重  $W_D$  の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$C_D$	風力係数(鋼板部)	0.7	—
	風力係数(RC部)	2.1	—
	風力係数(付属品)	0.6	—
$G_D$	ガスト影響係数	2.73	—

② 風方向荷重の計算結果

各位置における風方向荷重を以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ hi (m)	速度圧 qz (N/m <sup>2</sup> )	外径 OD (m)	平均 外径 OD' (m)	受風面積 A <sub>F</sub> (m <sup>2</sup> )		風方向荷重 W <sub>D</sub> (kN)		
						鋼板部	付属品	鋼板部	付属品	合計
G	40.0	—	—	1.518	—	—	—	0.0	0.0	0.0
F	34.0	6.0	1724	1.663	1.591	9.55	5.87	31.5	16.6	48.1
E	28.0	6.0	1606	1.809	1.736	10.42	4.21	32.0	11.1	43.1
D	22.0	6.0	1474	1.960	1.888	11.33	4.21	32.0	10.2	42.2
C	16.0	6.0	1321	2.106	2.033	12.20	3.23	30.8	7.0	37.8
B	10.0	6.0	1135	2.259	2.187	13.13	5.49	28.5	10.3	38.8
A	6.505	3.495	1021	2.350	2.308	8.07	2.02	15.8	3.4	19.2

b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ GL+ (m)	区間高さ h <sub>i</sub> (m)	受風高さ h <sub>RC</sub> (m)	速度圧 q <sub>z</sub> (N/m <sup>2</sup> )	幅 B <sub>RC</sub> (m)	受風面積 (RC 部) A <sub>F</sub> (m <sup>2</sup> )	風方向荷重 (RC 部) W <sub>D</sub> (kN)
RC 部	0.0	6.505	7.0	1021	3.87	27.09	158.6
R	-1.03	1.03	—	—	—	—	—
S	-3.08	2.05	—	—	—	—	—
T	-6.2	3.12	—	—	—	—	—
U	-7.2	1.0	—	—	—	—	—

(5) 風方向荷重によるせん断力及び曲げモーメント

① せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $Q_D$  及び曲げモーメント  $M_D$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表 3・2 はりの図表」より導出した以下の式により求める。

$$Q_D = W_D$$

$$\Sigma Q_D = Q_D + \Sigma Q_{D(i-1)}$$

$$M_D = Q_D \times h_a + \Sigma Q_{D(i-1)} \times h_i$$

$$\Sigma M_D = M_D + \Sigma M_{D(i-1)}$$

記号	記号の意味	単位
$Q_D$	せん断力	kN
$\Sigma Q_D$	積算せん断力	kN
$M_D$	曲げモーメント	kN・m
$\Sigma M_D$	積算曲げモーメント	kN・m
$h_a$	各位置から重心までの高さ	m
$h_i$	区間高さ	m
$\Sigma Q_{D(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算せん断力	kN
$\Sigma M_{D(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算曲げモーメント	kN・m

② せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置におけるせん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ	区間高さ	重心高さ	風方向荷重 (合計) $W_D$ (kN)	せん断力		曲げモーメント	
	GL+ (m)	$h_i$ (m)	$h_a$ (m)		$Q_D$ (kN)	$\Sigma Q_D$ (kN)	$M_D$ (kN・m)	$\Sigma M_D$ (kN・m)
G	40.0	—	—	0.0	0.0	0.0	0	0
F	34.0	6.0	3.0	48.1	48.1	48.1	145	145
E	28.0	6.0	3.0	43.1	43.1	91.2	418	563
D	22.0	6.0	3.0	42.2	42.2	133.4	674	1237
C	16.0	6.0	3.0	37.8	37.8	171.2	914	2151
B	10.0	6.0	3.0	38.8	38.8	210.0	1144	3295
A	6.505	3.495	1.748	19.2	19.2	229.2	768	4063

b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ	区間高さ	重心高さ	風方向荷重 (RC 部) $W_D$ (kN)	せん断力		曲げモーメント	
	GL+ (m)	$h_i$ (m)	$h_a$ (m)		$Q_D$ (kN)	$\Sigma Q_D$ (kN)	$M_D$ (kN・m)	$\Sigma M_D$ (kN・m)
RC 部	0.0	6.505	3.5	158.6	158.6	387.8	2047	6110
R	-1.03	1.03	0.515	—	0.0	387.8	400	6510
S	-3.08	2.05	1.025	—	0.0	387.8	795	7305
T	-6.2	3.12	1.56	—	0.0	387.8	1210	8515
U	-7.2	1.0	0.5	—	0.0	387.8	388	8903

3.4.3 煙突構造設計指針による風直交方向荷重

(1) 風直交方向荷重の検討の有無確認

煙突構造設計指針「6.4 風直交方向荷重 6.4.1 渦励振および空力不安定振動の発生の有無」に示されている円形断面を有する煙突で以下の条件式に当てはまる場合は、渦励振による風直交方向荷重の検討を行う。

$$U_H / (f_L \times D_{2H/3}) \geq 4.2$$

ここで、条件式の計算に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$U_H$	設計風速	54.0	m/s
$f_L$	一次固有振動数	2.243	Hz
$D_{2H/3}$	高さ 2H/3 の位置の鋼板部外径	1.796	m

計算の結果、 $U_H / (f_L \times D_{2H/3}) = 13.41$  であり、上記の条件式に当てはまるため、渦励振による風直交方向荷重の検討を行う。

(2) 煙突構造設計指針による風直交方向荷重

① 風直交方向荷重の算出方法

風直交方向荷重  $W_r$  は、煙突構造設計指針「6.4 風直交方向荷重 6.4.2 渦励振による風直交方向荷重の算定式」に示されている以下の式により求める。

$$W_r = 0.8 \times \rho \times a \times U_r^2 \times C_r \times h / H \times A_F$$

記号	記号の意味	単位
$W_r$	風直交方向荷重	kN
$h$	該当部分の地表面からの高さ	m
$A_F$	受風面積(見付面積)	m <sup>2</sup>

風直交方向荷重  $W_r$  の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
$\rho_a$	空気密度	1.22	kg/m <sup>3</sup>
$U_r$	共振風速 $U_r = 5f_L \times D_{2H/3}$	20.2	m/s
$C_r$	共振時風力係数 $C_r = 0.57 / [(\zeta D)]^{1/2}$	5.7	—
H	煙突の基準高さ	40.0	m
$\zeta D$	風方向の一次減衰定数	0.01	—

② 風直交方向荷重の計算結果

各位置における風直交方向荷重  $W_r$  を以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ hi (m)	h/H	外径 OD (m)	平均 外径 OD' (m)	受風面積 $A_F$ (m <sup>2</sup> )		風直交方向荷重 $W_r$ (kN)		
						鋼板部	付属品	鋼板部	付属品	合計
G	40.0	—	—	1.518	—	—	—	0.0	0.0	0.0
F	34.0	6.0	0.925	1.663	1.591	9.55	5.87	20.1	12.4	32.5
E	28.0	6.0	0.775	1.809	1.736	10.42	4.21	18.4	7.5	25.9
D	22.0	6.0	0.625	1.960	1.888	11.33	4.21	16.1	6.0	22.1
C	16.0	6.0	0.475	2.106	2.033	12.20	3.23	13.2	3.5	16.7
B	10.0	6.0	0.325	2.259	2.187	13.13	5.49	9.7	4.1	13.8
A	6.505	3.495	0.207	2.350	2.308	8.07	2.02	3.8	1.0	4.8

b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ GL+ (m)	区間高さ hi (m)	受風高さ $h_{RC}$ (m)	h/H	幅 $B_{RC}$ (m)	受風面積 (RC 部)	風直交方向荷重 (RC 部)
						$A_F$ (m <sup>2</sup> )	$W_r$ (kN)
RC 部	0.0	6.505	7.0	—	3.87	27.09	0.0*4
R	-1.03	1.03	—	—	—	—	—
S	-3.08	2.05	—	—	—	—	—
T	-6.2	3.12	—	—	—	—	—
U	-7.2	1.0	—	—	—	—	—

\*4 : RC 部は自立形状でないため、渦励振は生じないものとする。

(3) 風直交方向荷重によるせん断力及び曲げモーメント

① せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $Q_r$  及び曲げモーメント  $M_r$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表 3・2 はりの図表」より導出した以下の式により求める。

$$Q_r = W_r$$

$$\Sigma Q_r = Q_r + \Sigma Q_{r(i-1)}$$

$$M_r = Q_r \times h_a + \Sigma Q_{r(i-1)} \times h_i$$

$$\Sigma M_r = M_r + \Sigma M_{r(i-1)}$$

記号	記号の意味	単位
$Q_r$	せん断力	kN
$\Sigma Q_r$	積算せん断力	kN
$M_r$	曲げモーメント	kN・m
$\Sigma M_r$	積算曲げモーメント	kN・m
$h_a$	各位置から重心までの高さ	m
$h_i$	区間高さ	m
$\Sigma Q_{r(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算せん断力	kN
$\Sigma M_{r(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算曲げモーメント	kN・m

② せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置におけるせん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

a. 鋼板部

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ $h_i$ (m)	重心 高さ $h_a$ (m)	風直交 方向荷重 (合計) $W_r$ (kN)	せん断力		曲げモーメント	
					$Q_r$ (kN)	$\Sigma Q_r$ (kN)	$M_r$ (kN・m)	$\Sigma M_r$ (kN・m)
G	40.0	—	—	0.0	0.0	0.0	0	0
F	34.0	6.0	3.0	32.5	32.5	32.5	98	98
E	28.0	6.0	3.0	25.9	25.9	58.4	273	371
D	22.0	6.0	3.0	22.1	22.1	80.5	417	788
C	16.0	6.0	3.0	16.7	16.7	97.2	534	1322
B	10.0	6.0	3.0	13.8	13.8	111.0	625	1947
A	6.505	3.495	1.748	4.8	4.8	115.8	397	2344

b. RC 部及び排気ダクト

位置	高さ	区間高さ	重心高さ	風直交方向荷重 (RC 部) Wr (kN)	せん断力		曲げモーメント	
	GL+ (m)	hi (m)	ha (m)		Qr (kN)	$\Sigma Qr$ (kN)	Mr (kN・m)	$\Sigma Mr$ (kN・m)
RC 部	0.0	6.505	3.5	0.0	0.0	115.8	754	3098
R	-1.03	1.03	0.515	—	0.0	115.8	120	3218
S	-3.08	2.05	1.025	—	0.0	115.8	238	3456
T	-6.2	3.12	1.56	—	0.0	115.8	362	3818
U	-7.2	1.0	0.5	—	0.0	115.8	116	3934



3.4.4 煙突構造設計指針による組合せ風荷重

煙突構造設計指針による組合せ風荷重  $W_A$  は、次に示す係数を算出した後、煙突構造設計指針「6.5 風荷重の組合せ」に基づき求める。

(1) 共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数

① 共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数の算出方法

共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数  $k_D$  は、煙突構造設計指針「6.5 水平風荷重の組合せ 表 6.15」に示されている下表より求める。

円形断面	
条件式	$k_D$
$4.2 f_L D_{2H/3} \leq U_H \leq 10 f_L D_{2H/3}$	1
$U_H > 10 f_L D_{2H/3}$	$(U_r/U_{2H/3})^2$

一次固有振動数  $f_L$  は 2.243 Hz、煙突の高さ  $2H/3$  における外径  $D_{2H/3}$  は 1.796 m であることから  $10 f_L D_{2H/3}$  は 40.3 となり、設計風速  $U_H$  の 54.0 より小さいため、共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数  $k_D$  は、以下の式により求める。

$$k_D = (U_r / U_{2H/3})^2$$

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
$U_r$	共振風速 $U_r = 5f_L \times D_{2H/3}$	20.2	m/s
$U_{2H/3}$	煙突の高さ $2H/3$ における設計風速 $U_{2H/3} = V_0 \times K_D \times E_{Z_{2H/3}} \times k_{rw}$	49.97	m/s
$E_{Z_{2H/3}}$	煙突の高さ $2H/3$ における風速の鉛直分布係数 $E_{Z_{2H/3}} = E_{r_{2H/3}} \times E_g$	0.97	—
$E_{r_{2H/3}}$	煙突の高さ $2H/3$ における高さ方向の分布係数 $E_{r_{2H/3}} = 1.7 \times (2H/3/Z_G)^\alpha$	0.97	—
$E_g$	小地形による風速の割り増し係数	1	—

② 共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数の計算結果

上記から、共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数  $k_D$  は「0.17」となる。

(2) 煙突構造設計指針による組合せ風荷重

① 組合せ風荷重の算出方法

組合せ風荷重  $W_A$  は、風方向荷重及び風直交方向荷重を組合せるものであり、煙突構造設計指針「6.5 風荷重の組合せ」に示されている以下の式により求める。

$$W_A = [(k_D \times W_D)^2 + W_r^2]^{1/2}$$

記号	記号の意味	単位
$W_A$	組合せ風荷重	kN
$W_D$	風方向荷重	kN
$W_r$	風直交方向荷重	kN

組合せ荷重の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$k_D$	共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数	0.17	—

② 組合せ風荷重の計算結果

各位置における組合せ風荷重を以下に示す。

位置	高さ	風方向荷重 (合計)	風直交方向荷重 (合計)	組合せ風荷重 $W_A$ (kN)
	GL+ (m)	$W_D$ (kN)	$W_r$ (kN)	
G	40.0	0.0	0.0	0.0
F	34.0	48.1	32.5	33.6
E	28.0	43.1	25.9	27.0
D	22.0	42.2	22.1	23.3
C	16.0	37.8	16.7	17.9
B	10.0	38.8	13.8	15.3
A	6.505	19.2	4.8	5.9
RC 部	0.0	158.6	0.0	27.0
R	-1.03	—	—	—
S	-3.08	—	—	—
T	-6.2	—	—	—
U	-7.2	—	—	—

(3) 組合せ風荷重によるせん断力及び曲げモーメント

① せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $\Sigma Q_A$  及び曲げモーメント  $\Sigma M_A$  は、煙突構造設計指針「6.5 風荷重の組合せ」より導出した以下の式により求める。

$$\Sigma Q_A = [(k_D \times \Sigma Q_D)^2 + \Sigma Q_R^2]^{1/2}$$

$$\Sigma M_A = [(k_D \times \Sigma M_D)^2 + \Sigma M_R^2]^{1/2}$$

記号	記号の意味	単位
$\Sigma Q_A$	せん断力	kN
$\Sigma M_A$	曲げモーメント	kN・m

② せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置におけるせん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	風方向荷重		風直交方向荷重		組合せ風荷重	
		せん断力 $\Sigma Q_D$ (kN)	曲げモーメント $\Sigma M_D$ (kN・m)	せん断力 $\Sigma Q_R$ (kN)	曲げモーメント $\Sigma M_R$ (kN・m)	せん断力 $\Sigma Q_A$ (kN)	曲げモーメント $\Sigma M_A$ (kN・m)
G	40.0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
F	34.0	48.1	145	32.5	98	33.6	102
E	28.0	91.2	563	58.4	371	60.5	384
D	22.0	133.4	1237	80.5	788	83.7	816
C	16.0	171.2	2151	97.2	1322	101.5	1372
B	10.0	210.0	3295	111.0	1947	116.6	2026
A	6.505	229.2	4063	115.8	2344	122.2	2444
RC部	0.0	387.8	6110	115.8	3098	133.3	3268
R	-1.03	387.8	6510	115.8	3218	133.3	3403
S	-3.08	387.8	7305	115.8	3456	133.3	3673
T	-6.2	387.8	8515	115.8	3818	133.3	4084
U	-7.2	387.8	8903	115.8	3934	133.3	4216

### 3.5 荷重の集計

#### (1) 荷重の集計結果

「3.3 地震力」及び「3.4 風荷重」で求めた荷重、せん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

#### ① 荷重の集計結果

各位置における荷重を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	地震力 P (kN)	風荷重 (合計) Pw (kN)	風方向荷重(合計) W <sub>D</sub> (kN)	風直交方向荷重 (合計) W <sub>r</sub> (kN)	組合せ風荷重 W <sub>A</sub> (kN)
G	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	34.0	54.5	43.0	48.1	32.5	33.6
E	28.0	45.0	39.9	43.1	25.9	27.0
D	22.0	62.1	39.7	42.2	22.1	23.3
C	16.0	59.0	36.5	37.8	16.7	17.9
B	10.0	98.6	39.4	38.8	13.8	15.3
A	6.505	143.6	18.4	19.2	4.8	5.9
RC部	0.0	769.5	73.2	158.6	0.0	27.0
R	-1.03	38.9	—	—	—	—
S	-3.08	62.7	—	—	—	—
T	-6.2	102.1	—	—	—	—
U	-7.2	50.0	—	—	—	—

② せん断力の集計結果

各位置におけるせん断力を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	地震力 $\Sigma Q_p$ (kN)	風荷重 $\Sigma Q_w$ (kN)	風方向荷重 $\Sigma Q_D$ (kN)	風直交方向荷重 $\Sigma Q_r$ (kN)	組合せ風荷重 $\Sigma Q_A$ (kN)
G	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	34.0	54.5	43.0	48.1	32.5	33.6
E	28.0	99.5	82.9	91.2	58.4	60.5
D	22.0	161.6	122.6	133.4	80.5	83.7
C	16.0	220.6	159.1	171.2	97.2	101.5
B	10.0	319.2	198.5	210.0	111.0	116.6
A	6.505	462.8	216.9	229.2	115.8	122.2
RC部	0.0	1233	290.1	387.8	115.8	133.3
R	-1.03	1272	290.1	387.8	115.8	133.3
S	-3.08	1335	290.1	387.8	115.8	133.3
T	-6.2	1438	290.1	387.8	115.8	133.3
U	-7.2	1488	290.1	387.8	115.8	133.3

③ 曲げモーメントの集計結果

各位置における曲げモーメントを以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	地震力 $\Sigma M_p$ (kN・m)	風荷重 $\Sigma M_w$ (kN・m)	風方向荷重 $\Sigma M_D$ (kN・m)	風直交方向荷重 $\Sigma M_r$ (kN・m)	組合せ風荷重 $\Sigma M_A$ (kN・m)
G	40.0	0	0	0	0	0
F	34.0	164	129	145	98	102
E	28.0	626	507	563	371	384
D	22.0	1410	1124	1237	788	816
C	16.0	2557	1970	2151	1322	1372
B	10.0	4177	3043	3295	1947	2026
A	6.505	5544	3769	4063	2344	2444
RC部	0.0	11250	5437	6110	3098	3268
R	-1.03	12550	5736	6510	3218	3403
S	-3.08	15230	6331	7305	3456	3673
T	-6.2	19560	7237	8515	3818	4084
U	-7.2	21030	7528	8903	3934	4216

(2) 荷重の設定

① 荷重の設定方法

「3.5 荷重の集計 (1) 荷重の集計結果」より、各位置における荷重のうち最も大きい荷重を設計荷重として採用する。

② せん断力

「3.5 荷重の集計 (1) 荷重の集計結果 ②せん断力の集計結果」より、最も大きい地震力によるせん断力を設計せん断力 Q とする。

③ 曲げモーメント

「3.5 荷重の集計 (1) 荷重の集計結果 ③曲げモーメントの集計結果」より、最も大きい地震力による曲げモーメントを設計曲げモーメント M とする。

### 3.6 鋼板部の検討

#### (1) 鋼板部にかかる応力度

##### ① 鋼板部にかかる応力度の算出方法

鋼板部にかかる応力度は煙突構造設計指針「7.3 鋼製煙突の断面算定 7.3.1 筒身部材の断面算定」に示されている以下の式により求め、鋼板部にかかる合成応力度は、塔状鋼構造設計指針・同解説「4章 各部構造の算定 4.3 径厚比の大きい円筒の圧縮・曲げおよびせん断」より、導出した以下の式により求める。

なお、鋼板部の応力度を求めるための荷重（軸力及び曲げモーメント）には、「3.5 荷重の集計」で求めた値を用いる。また、圧縮力については各位置における積算重量を軸力として採用する。

$$\begin{aligned}\sigma N &= N/Ae \\ \sigma M &= M/Ze \\ \sigma Mc &= \sigma N + \sigma M\end{aligned}$$

記号	記号の意味	単位
$\sigma N$	圧縮応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma M$	曲げ応力度	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma Mc$	合成応力度	N/mm <sup>2</sup>
N	鋼板部設計軸力(圧縮力)	kN
M	鋼板部設計曲げモーメント	kN・m
Ae	腐食代を考慮した鋼板部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
Ze	腐食代を考慮した鋼板部の有効断面係数	mm <sup>3</sup>

##### ② 鋼板部にかかる応力度の計算結果

各位置における応力度を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	断面積 Ae (mm <sup>2</sup> )	断面係数 Ze (mm <sup>3</sup> )	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	圧縮 応力度 $\sigma N$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 応力度 $\sigma M$ (N/mm <sup>2</sup> )	合成 応力度 $\sigma Mc$ (N/mm <sup>2</sup> )
F	34.0	3.641×10 <sup>4</sup>	1.501×10 <sup>7</sup>	36.3	164	1.0	11.0	12.0
E	28.0	3.962×10 <sup>4</sup>	1.778×10 <sup>7</sup>	66.3	626	1.7	35.3	37.0
D	22.0	6.126×10 <sup>4</sup>	2.971×10 <sup>7</sup>	107.7	1410	1.8	47.5	49.3
C	16.0	6.584×10 <sup>4</sup>	3.434×10 <sup>7</sup>	147.0	2557	2.3	74.5	76.8
B	10.0	9.874×10 <sup>4</sup>	5.507×10 <sup>7</sup>	212.7	4177	2.2	75.9	78.1
A	6.505	1.245×10 <sup>5</sup>	7.215×10 <sup>7</sup>	308.4	5544	2.5	76.9	79.4

③ 鋼板部にかかるせん断力の検討の必要性について

せん断力については、塔状鋼構造設計指針・同解説「4章 各部構造の算定 4.3 径厚比の大きい円筒の圧縮・曲げおよびせん断」より、以下の条件式に当てはまる場合、せん断力の検討は不要となる。このため、せん断力の検討の必要性を確認する。

$$H_B/D > 0.86$$

記号	記号の意味	単位
$H_B$	鋼板部の全高さ	m
D	鋼板部の径	m

せん断力の検討に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$H_B$	鋼板部の全高さ	33.5	m
D	鋼板部の径	2.350	m

上記から、 $H_B/D = 14.25 > 0.86$  となり条件を満たすため、せん断力についての検討は不要となる。

(2) 鋼板部の局部座屈に対する許容応力度

① 鋼板部の局部座屈に対する許容応力度の算出方法

鋼板部の局部座屈に対する長期許容応力度  $f_c''$  は、塔状鋼構造設計指針・同解説「4章 各部構造の算定 4.3 径厚比の大きい円筒の圧縮・曲げおよびせん断」より導出した以下の式により求める。

条件式	計算式
$OD/te \leq 23500/F$	$f_c'' = F/1.5$
$23500/F < OD/te \leq 137000/F$	$f_c'' = (105 - 0.00034 \times F \times OD/te) \times F / (132 + 0.00065 \times F \times OD/te)$
$OD/te > 137000/F$	$f_c'' = 36500 / (OD/te)$

ここで、

記号	記号の意味	単位
$f_c''$	鋼板部の局部座屈に対する長期許容応力度	$N/mm^2$
OD	鋼板部の外径	mm
te	有効板厚（腐食代 2 mm を考慮）	mm



鋼板部の局部座屈に対する長期許容応力度の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
F	鋼材(SS400)の基準強度 ( $t \leq 40$ )	235	N/mm <sup>2</sup>

条件式より計算式の選定を行う。

位置	高さ GL+ (m)	外径 OD (mm)	有効板厚 te (mm)	径厚比 OD/te	条件式適用の確認	
					23500/F	137000/F
F	34.0	1663	7	237.6	100	583
E	28.0	1809	7	258.5		
D	22.0	1960	10	196.0		
C	16.0	2106	10	210.6		
B	10.0	2259	14	161.4		
A	6.505	2350	17	138.3		

上記から、各高さにおける径厚比は全て  $23500/F < OD/te \leq 137000/F$  の範囲に入っていることから長期許容応力度は以下の式により求める。

なお、建築基準法施行令第90条より、短期許容応力度  $f_c$  は長期許容応力度  $f_c''$  の1.5倍とする。

$$f_c'' = (105 - 0.00034 \times F \times OD/te) \times F / (132 + 0.00065 \times F \times OD/te)$$

② 鋼板部の局部座屈に対する許容応力度の計算結果

上記式により求めた長期許容応力度及び短期許容応力度を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	長期許容応力度 $f_c''$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
F	34.0	120.1	180.1
E	28.0	115.5	173.2
D	22.0	129.6	194.4
C	16.0	126.2	189.3
B	10.0	138.1	207.1
A	6.505	144.1	216.1

(3) オバリング（最小鋼板板厚の制約）の検討

鋼製煙突は、オバリング振動に対し安全な形状としなければならない。オバリングとは、円形断面が変形のために円形でなくなる現象をいい、円筒の両側に交互に発生するカルマン渦による強制振動により発生するものである。したがって、煙突構造設計施工指針「2.3 鋼製煙突（1）基本設計 6）その他の留意事項」に示されている以下の式により鋼板部の板厚が最小鋼板板厚以上であることを確認する。

$$t_i \geq r/400 \text{ (ライニング厚が 40 mm 以上で剛性が期待出来る場合)}$$

$$t_i \geq r/200 \text{ (上記以外の場合)}$$

記号	記号の意味	単位
$t_i$	鋼板部の板厚（腐食代は考慮しない。）	mm
$r$	鋼板部の半径（鋼板中心までの距離）	mm

本排気筒は、ライニングを施さないため  $t_i \geq r/200$  を適用する。上記式により求めた最小鋼板板厚を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	半径 r (mm)	最小鋼板板厚 r/200 (mm)
F	34.0	827	4.2
E	28.0	900	4.5
D	22.0	974	4.9
C	16.0	1047	5.3
B	10.0	1122	5.7
A	6.505	1166	5.9

(4) 鋼板部にかかる応力度の計算結果の集計

鋼板部にかかる応力度の計算結果を以下に示す。

① 鋼板部の各位置における計算結果を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	合成応力度 $\sigma Mc$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 fc (N/mm <sup>2</sup> )
F	34.0	12.0	180.1
E	28.0	37.0	173.2
D	22.0	49.3	194.4
C	16.0	76.8	189.3
B	10.0	78.1	207.1
A	6.505	79.4	216.1

② 各位置におけるオバリングに対する検討結果を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	最小鋼板板厚 r/200 (mm)	鋼板部の板厚 ti (mm)
F	34.0	4.2	9
E	28.0	4.5	9
D	22.0	4.9	12
C	16.0	5.3	12
B	10.0	5.7	16
A	6.505	5.9	19

### 3.7 鋼板部の開口部の検討

鋼板部の開口部（以下「開口部」という。）周辺の応力分布には応力集中が考えられるため、開口部の健全性について確認を行う。

各開口部に作用する応力度を算出する。開口部の寸法概略図を図 3.7-1 に示す。

#### (1) 各位置における開口部重量の計算結果

「3.1 排気筒及び排気ダクトの重量」から求めた B 地点の重量を基準として、各位置における重量を以下に示す。また、積算重量を設計軸力 N として採用する。

位置	高さ GL+ (m)	区間重量 Wi (kN)	積算重量 Wa (kN)
B	10.0	65.7	212.7
点検口上部	9.25	8.1	220.8
点検口下部	8.75	5.5	226.3
ダクト上部	8.1	20.2	246.5
ダクト下部	7.5	6.6	253.1

(2) 開口部にかかる設計荷重

開口部にかかる設計荷重は、「3.5 荷重の集計 (2) 荷重の設定」から地震力を採用する。

① 開口部にかかる地震力

a. 開口部にかかる地震力の算出方法

開口部に発生する地震力 P は、平成 12 年建設省告示第 1389 号第 1 項第一号に示されている以下の式により求める。

$$P = k \times W_i$$

記号	記号の意味	単位
P	地震力	kN
k	「1.2 設計条件 (1) 地震力」で設定した設計震度	—
W <sub>i</sub>	区間重量	kN

b. 開口部にかかる地震力の計算結果

各位置における地震力を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	設計震度 k	区間重量 W <sub>i</sub> (kN)	地震力 P (kN)
B	10.0	1.5	65.7	98.6
点検口上部	9.25	1.5	8.1	12.2
点検口下部	8.75	1.5	5.5	8.3
ダクト上部	8.1	1.5	20.2	30.3
ダクト下部	7.5	1.5	6.6	9.9

② せん断力及び曲げモーメント

a. せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $Q_p$  及び曲げモーメント  $M_p$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表3・2 はりの図表」より導出した以下の式により求める。

$$Q_p = P$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + \Sigma Q_{p(i-1)}$$

$$M_p = Q_p \times ha + \Sigma Q_{p(i-1)} \times hi$$

$$\Sigma M_p = M_p + \Sigma M_{p(i-1)}$$

記号	記号の意味	単位
$Q_p$	せん断力	kN
$M_p$	曲げモーメント	kN・m
$\Sigma Q_p$	積算せん断力	kN
$\Sigma M_p$	積算曲げモーメント	kN・m
ha	各位置から重心までの高さ	m
hi	区間高さ	m
$\Sigma Q_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算せん断力	kN
$\Sigma M_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算曲げモーメント	kN・m

b. せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置における地震力、せん断力及び曲げモーメントを以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ hi (m)	重心 高さ ha (m)	地震力 P (kN)	せん断力		曲げモーメント	
					$Q_p$ (kN)	$\Sigma Q_p$ (kN)	$M_p$ (kN・m)	$\Sigma M_p$ (kN・m)
B	10.0	6.0	3.0	98.6	98.6	319.2	1620	4177
点検口上部	9.25	0.75	0.375	12.2	12.2	331.4	244	4421
点検口下部	8.75	0.5	0.25	8.3	8.3	339.7	168	4589
ダクト上部	8.1	0.65	0.325	30.3	30.3	370.0	231	4820
ダクト下部	7.5	0.6	0.3	9.9	9.9	379.9	225	5045

(3) 開口部にかかる応力度

開口部にかかる応力度は、煙突構造設計指針「11.3.4 開口部の設計」に示されている式により算出する。

なお、設計軸力には「3.7 鋼板部の開口部の検討 (1) 各位置における開口部重量の計算結果」で求めた積算重量を採用する。開口部のモデル図を図 3.7-2 に示す。

① 仕様

a. A-A 断面の仕様

記号	記号の意味及び計算式	数値		単位
		点検口	ダクト	
N	設計軸力	220.8	246.5	kN
M <sub>p</sub>	設計曲げモーメント	4421	4820	kN・m
r	内側半径	1122	1136	mm
tew	板厚 (腐食代 2 mm 考慮)	37	45	mm
tsw	板厚 (腐食代 2 mm 考慮)	17	17	mm
θ <sub>1</sub>	点検口 20.9° /180° × π	0.365	—	rad
	ダクト 26.1° /180° × π	—	0.456	
θ <sub>2</sub>	90° /180° × π	1.571	1.571	rad
2a	開口高さ	800	900	mm
2b	開口幅	800	1000	mm
a	点検口の高さの半分	400	450	mm
b	点検口の横の長さの半分	400	500	mm
ρ	点検口隅角部の曲率半径	150	150	mm
D	地表面からの高さにおける鋼板部外径	2283	2311	mm

b. B-B 断面の仕様

記号	記号の意味及び計算式	数値		単位
		点検口	ダクト	
N	設計軸力	226.3	253.1	kN
M <sub>p</sub>	設計曲げモーメント	4589	5045	kN・m
r	内側半径	1128	1144	mm
tew	板厚（腐食代 2 mm 考慮）	37	45	mm
tsw	板厚（腐食代 2 mm 考慮）	17	17	mm
θ <sub>1</sub>	点検口 20.8° /180° × π	0.364	—	rad
	ダクト 25.9° /180° × π	—	0.453	
θ <sub>2</sub>	90° /180° × π	1.571	1.571	rad
2a	開口高さ	800	900	mm
2b	開口幅	800	1000	mm
a	点検口の高さの半分	400	450	mm
b	点検口の横の長さの半分	400	500	mm
ρ	点検口隅角部の曲率半径	150	150	mm
D	地表面からの高さにおける鋼板部外径	2295	2326	mm

② A-A 断面の a 点にかかる座屈応力度の算出

A-A 断面の a 点にかかる座屈応力度 σ<sub>a</sub> は、煙突構造設計指針「11.3.4 開口部の設計」に示されている以下の式により求める。

$$\sigma_a = \sigma_{exa} + \sigma_{exa}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
σ <sub>a</sub>	a 点にかかる座屈応力度	68.1	73.7	N/mm <sup>2</sup>

ここで、a 点にかかる圧縮応力度 σ<sub>exa</sub> は、以下の式により求める。

$$\sigma_{exa} = N/A_e$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
σ <sub>exa</sub>	a 点にかかる圧縮応力度	1.4	1.5	N/mm <sup>2</sup>



ここで、A-A断面の有効断面積  $A_e$  は、以下の式により求める。

$$A_e = 2 \times r \{ (\theta_2 - \theta_1) \times t_{ew} + \theta_2 \times t_{sw} \}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$A_e$	有効断面積	$1.600 \times 10^5$	$1.746 \times 10^5$	$\text{mm}^2$

a点にかかる曲げ応力度  ${}_b\sigma_{\text{exa}}$  は、以下の式により求める。

$${}_b\sigma_{\text{exa}} = M_p / Z_{\text{gxa}}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
${}_b\sigma_{\text{exa}}$	a点にかかる曲げ応力度	66.7	72.2	$\text{N}/\text{mm}^2$

ここで、a点の断面係数  $Z_{\text{gxa}}$  は、以下の式により求める。

$$Z_{\text{gxa}} = I_{\text{gx}} / (r - X_{\text{g}})$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$Z_{\text{gxa}}$	a点の断面係数	$6.629 \times 10^7$	$6.685 \times 10^7$	$\text{mm}^3$

ここで、A-A断面の中立軸  $X'$  に関する断面二次モーメント  $I_{\text{gx}}$  は、以下の式により求める。

$$I_{\text{gx}} = I_{\text{ex}} - A_e \times X_{\text{g}}^2$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$I_{\text{gx}}$	中立軸 $X'$ に関する断面二次モーメント	$8.147 \times 10^{10}$	$8.404 \times 10^{10}$	$\text{mm}^4$

ここで、A-A 断面の X-X 軸に関する断面二次モーメント  $I_{ex}$  は、以下の式により求める。

$$I_{ex} = r^3 \times ((\pi/2 - \theta_1 - \sin 2\theta_1/2) \times tew + (\pi/2) \times tsw)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$I_{ex}$	X-X 軸に関する断面二次モーメント	$8.330 \times 10^{10}$	$8.660 \times 10^{10}$	$\text{mm}^4$

A-A 断面の X-X 軸から中立軸 X' までの距離  $X_g$  は、以下の式により求める。

$$X_g = Q_{ex}/A_e$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$X_g$	X-X 軸から中立軸 X' までの距離	-106.9	-121.0	mm

ここで、A-A 断面の X-X 軸に関する断面一次モーメント  $Q_{ex}$  は、以下の式により求める。

$$Q_{ex} = 2 \times r^2 \times (tew \times (\sin \theta_1 - 1) + tsw)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$Q_{ex}$	X-X 軸に関する断面一次モーメント	$-1.710 \times 10^7$	$-2.112 \times 10^7$	$\text{mm}^3$

③ A-A 断面の b 点にかかる座屈応力度の算出

A-A 断面の b 点にかかる座屈応力度  $\sigma_{b\alpha b}$  は、煙突構造設計指針「11.3.4 開口部の設計」に示されている以下の式により求める。

$$\sigma_{b\alpha b} = \sigma_b \times \alpha_b$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_{b\alpha b}$	b 点にかかる座屈応力度	106.3	105.7	$\text{N}/\text{mm}^2$

ここで、b点にかかる座屈応力度  $\sigma_b$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_b = \sigma_{c\text{exb}} + \sigma_{b\text{exb}}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_b$	b点にかかる座屈応力度	52.5	53.1	N/mm <sup>2</sup>

ここで、b点にかかる圧縮応力度  $\sigma_{c\text{exb}}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{c\text{exb}} = N/Ae$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_{c\text{exb}}$	b点にかかる圧縮応力度	1.4	1.5	N/mm <sup>2</sup>

b点にかかる曲げ応力度  $\sigma_{b\text{exb}}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{b\text{exb}} = M_p/Z_{gxb}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_{b\text{exb}}$	b点にかかる曲げ応力度	51.1	51.6	N/mm <sup>2</sup>

ここで、b点の断面係数  $Z_{gxb}$  は、以下の式により求める。

$$Z_{gxb} = I_{gx} / (r \times \cos \theta_1 + X_g)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$Z_{gxb}$	b点の断面係数	$8.656 \times 10^7$	$9.348 \times 10^7$	mm <sup>3</sup>

b 点にかかる応力集中係数  $\alpha b$  は、以下の式により求める。

$$\alpha b = (2 + (1 - b/Bd)^3) \times (1 + (2/3) \times (1 - (b/Bd)^{1.6}) \times ([b/\rho]^{1/2} - 1)) \times (0.6 + 0.4 \times \text{EXP}(-1.5 \times (a/\rho - 1) \times [\rho/b]^{1/2}))$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\alpha b$	b 点にかかる応力集中係数	2.023	1.990	—

ここで、鋼板部外径 D による円断面に等しくなるような正方形断面の長さの半分 Bd は、以下の式により求める。

$$Bd = [\pi \times D^2/4]^{1/2}/2$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
Bd	鋼板部外径 D による円断面に等しくなるような正方形断面の長さの半分	1012	1025	mm

④ B-B 断面の c 点にかかる座屈応力度の算出

B-B 断面の c 点にかかる座屈応力度  $\sigma c$  は、煙突構造設計指針「11.3.4 開口部の設計」に示されている以下の式により求める。

$$\sigma c = {}_c\sigma_{exc} + {}_b\sigma_{exc}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma c$	c 点にかかる座屈応力度	70.0	75.8	N/mm <sup>2</sup>

ここで、c 点にかかる圧縮応力度  ${}_c\sigma_{exc}$  は、以下の式により求める。

$${}_c\sigma_{exc} = N/Ae$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
${}_c\sigma_{exc}$	c 点にかかる圧縮応力度	1.5	1.5	N/mm <sup>2</sup>

ここで、B-B断面の有効断面積  $A_e$  は、以下の式により求める。

$$A_e = 2 \times r \{ (\theta_2 - \theta_1) \times t_{ew} + \theta_2 \times t_{sw} \}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$A_e$	有効断面積	$1.610 \times 10^5$	$1.762 \times 10^5$	$\text{mm}^2$

c点にかかる曲げ応力度  ${}_b\sigma_{exc}$  は、以下の式により求める。

$${}_b\sigma_{exc} = M_p / Z_{gxc}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
${}_b\sigma_{exc}$	c点にかかる曲げ応力度	68.5	74.3	$\text{N}/\text{mm}^2$

ここで、c点の断面係数  $Z_{gxc}$  は、以下の式により求める。

$$Z_{gxc} = I_{gx} / (r - X_g)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$Z_{gxc}$	c点の断面係数	$6.704 \times 10^7$	$6.791 \times 10^7$	$\text{mm}^3$

ここで、B-B断面の中立軸  $X'$  に関する断面二次モーメント  $I_{gx}$  は、以下の式により求める。

$$I_{gx} = I_{ex} - A_e \times X_g^2$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$I_{gx}$	中立軸 $X'$ に関する断面二次モーメント	$8.286 \times 10^{10}$	$8.608 \times 10^{10}$	$\text{mm}^4$

ここで、B-B 断面の X-X 軸に関する断面二次モーメント  $I_{ex}$  は、以下の式により求める。

$$I_{ex} = r^3 \times ((\pi/2 - \theta_1 - \sin 2\theta_1/2) \times tew + (\pi/2) \times tsw)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$I_{ex}$	X-X 軸に関する断面二次モーメント	$8.474 \times 10^{10}$	$8.877 \times 10^{10}$	$\text{mm}^4$

B-B 断面の X-X 軸から中立軸  $X'$  までの距離  $X_g$  は、以下の式により求める。

$$X_g = Q_{ex}/A_e$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$X_g$	X-X 軸から中立軸 $X'$ までの距離	-107.9	-123.4	mm

ここで、B-B 断面の X-X 軸に関する断面一次モーメント  $Q_{ex}$  は、以下の式により求める。

$$Q_{ex} = 2 \times r^2 \times (tew \times (\sin \theta_1 - 1) + tsw)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$Q_{ex}$	X-X 軸に関する断面一次モーメント	$-1.737 \times 10^7$	$-2.173 \times 10^7$	$\text{mm}^3$

⑤ 点検口 B-B 断面部の d 点にかかる座屈応力度の算出

点検口 B-B 断面部の d 点にかかる座屈応力度  $\sigma_{d\alpha d}$  は、煙突構造設計指針「11.3.4 開口部の設計」に示されている以下の式により求める。

$$\sigma_{d\alpha d} = \sigma_d \times \alpha_d$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_{d\alpha d}$	d 点にかかる座屈応力度	109.5	108.9	$\text{N}/\text{mm}^2$

ここで、d点にかかる座屈応力度 $\sigma_d$ は、以下の式により求める。

$$\sigma_d = \sigma_{exd} + \sigma_{bexd}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_d$	d点にかかる座屈応力度	54.0	54.6	N/mm <sup>2</sup>

ここで、d点にかかる圧縮応力度 $\sigma_{exd}$ は、以下の式により求める。

$$\sigma_{exd} = N/Ae$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_{exd}$	d点にかかる圧縮応力度	1.5	1.5	N/mm <sup>2</sup>

d点にかかる曲げ応力度 $\sigma_{bexd}$ は、以下の式により求める。

$$\sigma_{bexd} = M_p/Z_{gxd}$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\sigma_{bexd}$	d点にかかる曲げ応力度	52.5	53.1	N/mm <sup>2</sup>

ここで、d点の断面係数 $Z_{gxd}$ は、以下の式により求める。

$$Z_{gxd} = I_{gx} / (r \times \cos \theta_1 + X_g)$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$Z_{gxd}$	d点の断面係数	$8.757 \times 10^7$	$9.509 \times 10^7$	mm <sup>3</sup>

d 点にかかる応力集中係数  $\alpha d$  は、以下の式により求める。

$$\alpha d = (2 + (1 - b/Bd)^3) \times (1 + (2/3) \times (1 - (b/Bd)^{1.6}) \times ([b/\rho]^{1/2} - 1)) \times (0.6 + 0.4 \times \text{EXP}(-1.5 \times (a/\rho - 1) \times [\rho/b]^{1/2}))$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
$\alpha d$	d 点にかかる応力集中係数	2.026	1.994	—

ここで、鋼板部外径 D による円断面に等しくなるような正方形断面の長さの半分 Bd は、以下の式により求める。

$$Bd = [\pi \times D^2/4]^{1/2}/2$$

記号	記号の意味	数値		単位
		点検口	ダクト	
Bd	鋼板部外径 D による円断面に等しくなるような正方形断面の長さの半分	1017	1031	mm

(4) 開口部にかかる応力度の計算結果

開口部にかかる応力度の計算結果を以下に示す。短期許容応力度  $f_c$  は「3.6 鋼板部の検討 (2) 鋼板部の局部座屈に対する許容応力度」より求めた値を採用し、板厚が同じである位置 A の値を用いる。

位置	高さ GL+ (m)	記号	記号の意味	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	
点検口	9.25	a 点	$\sigma a$	a 点にかかる座屈応力度	68.1	216.1
		b 点	$\sigma b \alpha b$	b 点にかかる座屈応力度	106.3	216.1
	8.75	c 点	$\sigma c$	c 点にかかる座屈応力度	70.0	216.1
		d 点	$\sigma d \alpha d$	d 点にかかる座屈応力度	109.5	216.1
ダクト	8.1	a 点	$\sigma a$	a 点にかかる座屈応力度	73.7	216.1
		b 点	$\sigma b \alpha b$	b 点にかかる座屈応力度	105.7	216.1
	7.5	c 点	$\sigma c$	c 点にかかる座屈応力度	75.8	216.1
		d 点	$\sigma d \alpha d$	d 点にかかる座屈応力度	108.9	216.1



3.8 脚部の検討

煙突構造物では脚部の破壊が全体の崩壊に直接つながる可能性があるため、脚部の健全性について確認を行う。

脚部の各部位に作用する最大応力度を算出する。脚部の断面図(概略)を図 3.8-1 に示す。

(1) 仕様

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
N	設計軸力	308.4	kN
Q	設計せん断力	462.8	kN
M	設計曲げモーメント	5544	kN・m
sf <sub>cFc21</sub>	コンクリートの短期許容圧縮応力度(新設躯体)	14.0	N/mm <sup>2</sup>
sf <sub>cSFe21</sub>	コンクリートの短期許容せん断応力度(新設躯体)	1.05	N/mm <sup>2</sup>
fb <sub>1</sub>	鋼材(SS400)の圧縮、引張、曲げの短期許容応力度(t ≤ 40)	235	N/mm <sup>2</sup>
fb <sub>2</sub>	鋼材(TMCP325C)の圧縮、引張、曲げの短期許容応力度(40 < t ≤ 100)	325	N/mm <sup>2</sup>
sfb <sub>1</sub>	鋼材(SS400)の短期許容曲げ応力度(煙突構造設計指針から)(t ≤ 40) $sfb_1 = fb_1 / 1.3 \times 1.5$	271	N/mm <sup>2</sup>
sfb <sub>2</sub>	鋼材(TMCP325C)の短期許容曲げ応力度(煙突構造設計指針から)(40 < t ≤ 100) $sfb_2 = fb_2 / 1.3 \times 1.5$	375	N/mm <sup>2</sup>
sf <sub>s</sub>	鋼材(SS400)の短期許容せん断応力度(t ≤ 40)	135	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>to</sub>	アンカーボルトの降伏点(40 < t ≤ 100)	215	N/mm <sup>2</sup>
L <sub>ft</sub>	アンカーボルトの短期許容引張応力度(40 < t ≤ 100)	215	N/mm <sup>2</sup>
L <sub>fs</sub>	アンカーボルトの短期許容せん断応力度(40 < t ≤ 100)	161	N/mm <sup>2</sup>

記号	記号の意味	数値	単位
$E_s$	ヤング率(SS400)	$2.05 \times 10^5$	N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	ポアソン比(SS400)	0.3	—
$D_b$	外径(GL+6.505 m)	2350	mm
$t_{bg}$	鋼板部の板厚(GL+6.505 m)	19	mm
$n_A$	アンカーボルトの本数	64	本
$d_a$	アンカーボルトのねじの呼び径	48	mm
$A_o$	アンカーボルトの有効断面積(JIS G 3138 から)	1470	mm <sup>2</sup>
$d_f$	アンカーボルトの穴径	58	mm
$t_b$	ベースプレートの厚さ	32	mm
$t_f$	フランジプレートの厚さ	45	mm
$B_b$	ベースプレート幅	400	mm
$B_f$	フランジプレート幅	$190.5^{*5}$	mm
$t_r$	リブプレートの厚さ	12	mm
$b_r$	リブプレート幅	185.5	mm
$h_r$	リブプレート高さ	223	mm
$I. D_B$	ベースプレートの内径	1931	mm
$O. D_B$	ベースプレートの外径	2731	mm
$S_w$	溶接部の脚長	12	mm
$R_w$	溶接部のスカラップの半径	20	mm

\*5 : 鋼板部外側のフランジプレートの計算上使用する寸法

(2) アンカーボルトの検討

アンカーボルトにかかる応力は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (2)アンカーボルト」に示されている計算例に基づき算出する。

① アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張応力度

アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張応力度  $\sigma_t$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_t = T_a/A_o$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_t$	アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張応力度	97.1	N/mm <sup>2</sup>

ここで、アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張力  $T_a$  は、以下の式により求める。

$$T_a = ((-N/(\pi D_b \times t_{bg})) + (4M/(\pi D_b^2 \times t_{bg}))) \times ((\pi D_b \times t_{bg})/n_A)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$T_a$	アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張力	$1.427 \times 10^5$	N

② アンカーボルトにかかるせん断応力度

せん断応力度  $\tau$  は、全ボルトで均等に負担するものとする。

アンカーボルトにかかるせん断応力度  $\tau$  は、以下の式により求める。

$$\tau = Q/(n_A \times A_o)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau$	アンカーボルト 1 本当たりにかかるせん断応力度	5.0	N/mm <sup>2</sup>

③ アンカーボルト 1 本当たりの許容合成応力度

アンカーボルト 1 本当たりの許容合成応力度  $f_{ts}$  は、以下の式により求める。

$$f_{ts} = 1.4f_{to} - 1.6\tau$$

記号	記号の意味	数値	単位
$f_{ts}$	アンカーボルト 1 本当たりの許容合成応力度	215 <sup>*6</sup>	N/mm <sup>2</sup>

\*6 : アンカーボルト 1 本当たりの許容合成応力度 ( $f_{ts} = 293.0 \text{ N/mm}^2$ ) は、アンカーボルト材の許容応力度  $215 \text{ N/mm}^2$  より大きいため、アンカーボルト 1 本当たりの許容合成応力度  $f_{ts}$  は、アンカーボルト材の許容応力度である「 $215 \text{ N/mm}^2$ 」とする。

(3) アンカープレートの検討

アンカープレートにかかる応力は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (3) アンカープレート」に示されている計算例に基づき算出する。

アンカープレートは周方向補強板で支持される単純梁とみなす。アンカープレート部の概略図及び計算モデルを図 3.8-2 に示す。

① 仕様

記号	記号の意味	数値	単位
$b_A$	アンカープレート幅	370	mm
$D_A$	アンカープレートの中心での直径	2331	mm
$t_1$	アンカープレートの板厚	60	mm
$t_2$	周方向補強板の板厚	22	mm
$hd$	周方向補強板の幅	150	mm
$L_b$	アンカーボルト有効長さ	1800	mm

② アンカープレートにかかる圧縮応力度

アンカープレートにかかる圧縮応力度  $\sigma_{AC}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{AC} = 2Ta / (b_A \pi D_A / (n_A / 2))$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{AC}$	アンカープレートにかかる圧縮応力度	3.4	N/mm <sup>2</sup>

③ アンカープレートにかかる曲げ応力度

アンカープレートにかかる曲げ応力度  $\sigma_{Ab}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{Ab} = M_{Amax} / (t_1^2 / 6)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{Ab}$	アンカープレートにかかる曲げ応力度	97.0	N/mm <sup>2</sup>

ここで、アンカープレートにかかる単位長さ当たりの最大曲げモーメント  $M_{Amax}$  は、以下の式により求める。

$$M_{Amax} = (\sigma_{Ac} \times b_A^2) / 8$$

記号	記号の意味	数値	単位
$M_{Amax}$	アンカープレートにかかる単位長さ当たりの最大曲げモーメント	$5.819 \times 10^4$	N・mm/mm

④ 周方向補強板にかかる曲げ応力度

周方向補強板は、ボルトの位置で支持される連続梁とみなす。周方向補強板の計算モデルを図 3.8-3 に示す。

周方向補強板にかかる曲げ応力度  $\sigma_{rb}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{rb} = M_{Smax} / ((t_2 \times h d^2) / 6)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{rb}$	周方向補強板にかかる曲げ応力度	33.3	N/mm <sup>2</sup>

ここで、周方向補強板にかかる最大曲げモーメント  $M_{Smax}$  は、以下の式により求める。

$$M_{Smax} = \sigma_{Ac} \times (b_A / 2) \times Lr^2 / 12$$

記号	記号の意味	数値	単位
$M_{Smax}$	周方向補強板にかかる最大曲げモーメント	$2.747 \times 10^6$	N・mm

ここで、支点距離  $Lr$  は、以下の式により求める。

$$Lr = (\pi \times D_A) / (n_A / 2)$$

記号	記号の意味	数値	単位
Lr	支点距離	228.9	mm

⑤ 周方向補強板にかかるせん断応力度

周方向補強板にかかるせん断応力度  $\tau_A$  は、以下の式により求める。

$$\tau_A = 2 \times T_a / (2 \times t_2 \times h_d) \times 1.5$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_A$	周方向補強板にかかるせん断応力度	64.9	N/mm <sup>2</sup>

⑥ コンクリートの側面にかかるせん断応力度

コンクリートの側面にかかるせん断応力度  $\tau_c$  は、煙突構造設計指針「11.4.6 鉄塔脚部の設計」より導出した式により求める。

$$\tau_c = 2 \times T_a / A_c$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_c$	コンクリートの側面にかかるせん断応力度	0.35	N/mm <sup>2</sup>

ここで、アンカーボルト 2 本当たりが負担するコンクリートのせん断面積  $A_c$  は、煙突構造設計指針「11.4.6 鉄塔脚部の設計」より導出した式により求める。

$$A_c = (2 \times \pi \times D_A / (n_A / 2)) \times L_b$$

記号	記号の意味	数値	単位
$A_c$	コンクリートのせん断面積	$8.238 \times 10^5$	mm <sup>2</sup>

(4) ベースプレートの検討

ベースプレートにかかる応力は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (4) ベースプレート」に示されている計算例に基づき算出する。

ベースプレートをリブプレートの位置で支持される周方向連続梁とみなす。ベースプレートの計算モデルを図 3.8-4 に示す。

① ベースプレートにかかる組合せ応力度

ベースプレートにかかる組合せ応力度  $\sigma_{BC}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{BC} = N/A_B + M/Z_B$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{BC}$	ベースプレートにかかる組合せ応力度	3.9	N/mm <sup>2</sup>

ここで、ベースプレートの断面積  $A_B$  は、以下の式により求める。

$$A_B = \pi/4 \times (O.D_B^2 - I.D_B^2)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$A_B$	ベースプレートの断面積	$2.929 \times 10^6$	mm <sup>2</sup>

ここで、ベースプレートの断面係数  $Z_B$  は、以下の式により求める。

$$Z_B = \pi/32 \times (O.D_B^4 - I.D_B^4) / O.D_B$$

記号	記号の意味	数値	単位
$Z_B$	ベースプレートの断面係数	$1.499 \times 10^9$	mm <sup>3</sup>

② ベースプレートにかかる曲げ応力度

ベースプレートにかかる曲げ応力度  $\sigma_{Bb}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{Bb} = M_{Bmax} / (tb^2 \times (Bb/2) / 6)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{Bb}$	ベースプレートにかかる曲げ応力度	99.8	N/mm <sup>2</sup>

ここで、ベースプレートにかかる最大曲げモーメント  $M_{Bmax}$  は、以下の式により求める。

$$M_{Bmax} = \sigma_{Bc} \times (Bb/2) \times Lr^2 / 12$$

記号	記号の意味	数値	単位
$M_{Bmax}$	ベースプレートにかかる最大曲げモーメント (片側当たり)	$3.406 \times 10^6$	N・mm

(5) フランジプレートの検討

フランジプレートにかかる応力は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (5) フランジプレート」に示されている計算例に基づき算出する。

アンカーボルトの引張力が作用する場合で検討する。

フランジプレートをリブプレートの位置で支持される周方向連続梁とみなす。フランジプレートの計算モデルを図 3.8-5 に示す。

① フランジプレートにかかる曲げ応力度

フランジプレートにかかる曲げ応力度  $\sigma_{Fb}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{Fb} = M_{Fmax} / (tf^2 (Bf - df) / 6)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{Fb}$	フランジプレートにかかる曲げ応力度	91.4	N/mm <sup>2</sup>

ここで、フランジプレートにかかる最大曲げモーメント  $M_{Fmax}$  は、以下の式により求める。

$$M_{Fmax} = Ta \times Lr / 8$$



記号	記号の意味	数値	単位
$M_{Fmax}$	フランジプレートにかかる最大曲げモーメント (片側当たり)	$4.084 \times 10^6$	N・mm

(6) リブプレートの検討

リブプレートにかかる応力は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (6) リブプレート」に示されている計算例に基づき算出する。

リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。リブプレートの計算モデルを図 3.8-6 に示す。

① リブプレートにかかる圧縮応力度

リブプレートにかかる圧縮応力度  $\sigma_{RC}$  は、以下の式により求める。

$$\sigma_{RC} = Nr / (br \times tr)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{RC}$	リブプレートにかかる圧縮応力度	80.3	N/mm <sup>2</sup>

ここで、リブプレートにかかる圧縮力 Nr は、以下の式により求める。

$$Nr = \sigma_{BC} \times (Bb/2) \times Lr$$

記号	記号の意味	数値	単位
Nr	リブプレートにかかる圧縮力(片側当たり)	$1.786 \times 10^5$	N

② リブプレートにかかる許容座屈応力度

リブプレートにかかる許容座屈応力度  $\sigma_{rk}$  は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (6) リブプレート」の設計例に基づき、弾性安定要覧(長柱研究委員会編)「第4編 資料矩形版」より引用した以下の式により求める。

$$\sigma_{rk} = (K_R / \mu r) (\pi^2 \times Es / (12(1 - \nu^2))) \times (tr/br)^2$$

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
$\sigma_{rk}$	リブプレートにかかる許容座屈応力度	235*7	N/mm <sup>2</sup>
$K_R$	リブプレートにかかる座屈応力度の補正係数 $K_R = 0.42 + (br/hr)^2$	1.12	—
$\mu r$	座屈安全率	1.5	—

\*7 : リブプレートにかかる許容座屈応力度  $\sigma_{rk}$  ( $= 578.9 \text{ N/mm}^2$ ) は、リブプレート材の許容応力度  $235 \text{ N/mm}^2$  より大きいため、リブプレートにかかる許容座屈応力度  $\sigma_{rk}$  は、リブプレート材の許容応力度である「 $235 \text{ N/mm}^2$ 」とする。

(7) 溶接部の検討

溶接部にかかる応力は、煙突構造設計指針「11.3.5 脚部設計 (6) リブプレート 溶接部」に示されている計算例に基づき算出する。

① 溶接部にかかるせん断応力度

溶接部にかかるせん断応力度  $\tau_w$  は、以下の式により求める。

$$\tau_w = Nr/A_w$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_w$	溶接部にかかるせん断応力度	58.2	$\text{N/mm}^2$

ここで、溶接部の面積  $A_w$  は、以下の式により求める。

$$A_w = 2 \times 0.7 \times S_w (hr - 2 \times R_w)$$

記号	記号の意味	数値	単位
$A_w$	溶接部の面積	3074	$\text{mm}^2$

(8) 脚部の各部位にかかる応力度の計算結果

① 各部位にかかる応力度の計算結果

「3.8 脚部の検討」で求めた計算値と短期許容応力度を以下に示す。

発生応力度	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
アンカーボルト1本当たりにかかる引張応力度 $\sigma_t$	97.1	$f_{ts} = 215$
アンカーボルト1本当たりにかかるせん断応力度 $\tau$	5.0	$f_{fs} = 161$
アンカープレートにかかる圧縮応力度 $\sigma_{Ac}$	3.4	$sf_{cF_{c21}} = 14.0$
アンカープレートにかかる曲げ応力度 $\sigma_{Ab}$	97.0	$sf_{b2} = 375$
周方向補強板にかかる曲げ応力度 $\sigma_{rb}$	33.3	$fb_1 = 235$
周方向補強板にかかるせん断応力度 $\tau_A$	64.9	$sfs = 135$
コンクリートの側面にかかるせん断応力度 $\tau_c$	0.35	$sf_{cS_{F_{c21}}} = 1.05$
ベースプレートにかかる組合せ応力度 $\sigma_{BC}$	3.9	$sf_{cF_{c21}} = 14.0$
ベースプレートにかかる曲げ応力度 $\sigma_{Bb}$	99.8	$sf_{b1} = 271$
フランジプレートにかかる曲げ応力度 $\sigma_{Fb}$	91.4	$sf_{b2} = 375$
リブプレートにかかる圧縮応力度 $\sigma_{RC}$	80.3	$\sigma_{Rk} = 235$
溶接部にかかるせん断応力度 $\tau_w$	58.2	$sfs = 135$

3.9 RC 部及び排気ダクトの検討

RC 部及び排気ダクトにかかる荷重に対するコンクリート及び鉄筋の健全性を確認する。  
RC 部及び排気ダクトの概略図を図 3.9-1 に、付着長さ検討の概略図を図 3.9-2 に示す。

(1) 仕様

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
$F_{c21}$	コンクリート強度(新設躯体)	21	$N/mm^2$
$F_{c20.59}$	コンクリート強度(既設躯体)	20.59	$N/mm^2$
$sfa_{F_{c21}}$	コンクリートの短期許容付着応力度(新設躯体)	2.10	$N/mm^2$
$sfa_{F_{c20.59}}$	コンクリートの短期許容付着応力度(既設躯体)	2.05	$N/mm^2$
$L_{ft}$	アンカーボルトの短期許容引張応力度( $40 < t \leq 100$ )	215	$N/mm^2$
$f_t$	鉄筋(SD345)の短期許容引張応力度	345	$N/mm^2$
$f_{D16}$	鉄筋(SD295A)の規格降伏点強度	295	$N/mm^2$
$sfb_1$	鋼材(SS400)の短期許容曲げ応力度 (煙突構造設計指針から) ( $t \leq 40$ ) $sfb_1 = fb_1/1.3 \times 1.5$	271	$N/mm^2$
$A_o$	アンカーボルトの有効断面積(JIS G 3138 から)	1470	$mm^2$
$A_{oD13}$	呼び名 D13 の断面積(RC 規準から)	127	$mm^2$
$A_{oD16}$	呼び名 D16 の断面積(RC 規準から)	199	$mm^2$
$A_{oD25}$	呼び名 D25 の断面積(RC 規準から)	507	$mm^2$
$A_{oD38}$	呼び名 D38 の断面積(RC 規準から)	1140	$mm^2$
$A_{o_{fn}}$	定着板(D25)の支圧面積	2610	$mm^2$
$\phi_{D25}$	呼び名 D25 の周長(RC 規準から)	80	mm
$\phi_{D38}$	呼び名 D38 の周長(RC 規準から)	120	mm
$D_{fn}$	定着板の直径	63	mm
$B_{fn}$	定着板の幅	12	mm
$t_{fn}$	定着板の板厚	22	mm
$E_c$	既設コンクリートのヤング率(RC 規準から) $E_c = 3.35 \times 10^4 \times (\gamma_{Ec}/24)^2 \times (F_{c20.59}/60)^{(1/3)}$	21540	$N/mm^2$
$\gamma_{Ec}$	コンクリートの気乾単位体積重量	23	$kN/m^3$

(2) アンカーボルト及び縦筋(D38)の許容引張耐力の比較

アンカーボルト1本当たりにかかる引張力によって、アンカーボルト及び縦筋(D38)が破断しないことを確認する。アンカーボルト1本当たりにかかる引張力Taは、「6.8 脚部の検討 (2) アンカーボルトの検討」で求めた値を用いる。

① アンカーボルトの許容引張耐力の算出

アンカーボルトの許容引張耐力Btaは、煙突構造設計指針「7.3 鋼製煙突の断面算定 7.3.1 筒身部材の断面算定」より導出した以下の式により求める。

$$Bta = Lft \times Ao$$

記号	記号の意味	数値	単位
Bta	アンカーボルトの許容引張耐力	316.0	kN

② 縦筋(D38)の許容引張耐力の算出

縦筋(D38)の許容引張耐力Rtaは、煙突構造設計指針「7.3 鋼製煙突の断面算定 7.3.1 筒身部材の断面算定」より導出した以下の式により求める。

$$Rta = ft \times Ao_{D38}$$

記号	記号の意味	数値	単位
Rta	縦筋(D38)の許容引張耐力	393.3	kN

③ アンカーボルトの引張力と許容引張耐力の比較

アンカーボルト1本当たりにかかる引張力Taによりアンカーボルト及び縦筋(D38)が破断しないことを確認した。計算結果を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
Ta	アンカーボルト1本当たりにかかる引張力	142.7	kN
Bta	アンカーボルトの許容引張耐力	316.0	kN
Rta	縦筋(D38)の許容引張耐力	393.3	kN

(3) 縦筋(D38)にかかる付着応力度

縦筋(D38)がアンカーボルトの引張力によって引き抜かれないことを確認する。

① 縦筋(D38)1本当たりにかかる付着応力度の算出

縦筋(D38)1本当たりにかかる付着応力度  $\tau_{D38}$  は、RC 規準「16条 付着及び継手」より導出した以下の式により求める。

$$\tau_{D38} = T_a / (\phi_{D38} \times L_{aD38})$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_{D38}$	縦筋(D38)1本当たりにかかる付着応力度	0.87	N/mm <sup>2</sup>
$L_{aD38}$	縦筋(D38)の有効付着長さ	1380	mm

② コンクリートの短期許容付着応力度(新設躯体)の算出

短期許容付着応力度(新設躯体)  $0.8sf_{Fc21}$  は、RC 規準「16条 付着及び継手」より以下の式により求める。

$$0.8sf_{Fc21} = 0.8 \times sf_{Fc21}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$0.8sf_{Fc21}$	コンクリートの短期許容付着応力度(新設躯体)	1.68	N/mm <sup>2</sup>

(4) 既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) 下部にかかるせん断力

既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) がアンカーボルトの引張力によってせん断破壊されないことを確認する。

① 既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) 下部にかかるせん断力の算出

既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) 下部 1 本当たりにかかるせん断力  $\tau_{1CA}$  は、あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針「第 2 章 設計指針 2.2.1 一次設計」より導出した以下の式により求める。

$$\tau_{1CA} = T_a/n_{1CA}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_{1CA}$	シアコネクタ (D16) 下部 1 本当たりにかかるせん断力	15.9	kN
$n_{1CA}$	シアコネクタ (D16) 下部の本数	9	本

② シアコネクタ (D16) の短期許容せん断耐力

シアコネクタ (D16) の短期許容せん断耐力  $q_a$  は、あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針「第 1 章 適用範囲 1.2 許容応力度・材料強度 1.2.1 あと施工アンカー」に示されている以下の式により求める。

$$q_a = \min[q_{a1}, q_{a2}, 294A_{OD16}]$$

ここで、 $q_{a1}$ 、 $q_{a2}$  及び  $294A_{OD16}$  は、以下の式により求める。

$$q_{a1} = 0.7 \times f_{D16} \times A_{OD16}$$

$$q_{a2} = 0.4 \times [E_c \times F_c 20.59]^{1/2} \times A_{OD16}$$

$$294A_{OD16} = 294 \times A_{OD16}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$q_a$	シアコネクタ (D16) の短期許容せん断耐力	41.0	kN
$q_{a1}$	鋼材の耐力で決まる 1 本当たりのせん断耐力	41.0	kN
$q_{a2}$	コンクリートの支圧面積で決まる 1 本当たりのせん断耐力	53.0	kN
$294A_{OD16}$	鋼材の断面積で決まる 1 本当たりのせん断耐力	58.5	kN

(5) RC 部及び排気ダクトの鉄筋にかかる引張力の算出

荷重は、コンクリートを介して鉄筋から鉄筋へ伝わるため、鉄筋が重なり合う断面及び定着金物付鉄筋 (D25) の検討断面にかかる荷重を計算し、求めた荷重から各断面における応力度分布より以下に示す引張力を求める。

なお、RC 部及び排気ダクトのコンクリート及び鉄筋にかかる設計荷重は、「3.5 荷重の集計 (2) 荷重の設定」より地震力を採用する。引張力の検討位置を図 3.9-3 に示す。

- ・ N3a : GL+4.705 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力  
(アンカーボルトと縦筋 (D38) )
- ・ N3b : GL-3.2 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力  
(縦筋 (D38) と定着金物付鉄筋 (D25) )
- ・ N3c : GL-6.2 m (位置 T) 断面における定着金物付鉄筋 1 本当たりの引張力

① 各位置における重量の計算結果

「3.1 排気筒及び排気ダクトの重量」より求めた A、S 及び T 地点の重量を基準として、各位置における重量を算出する。また、積算重量  $W_a$  を軸力  $N_1$  として採用する。

位置	高さ GL+ (m)	区間重量 $W_i$ (kN)	積算重量 $W_a$ (kN)
A	6.505	95.7	308.4
$h_{N3a}$	4.705	563.9	872.3
S	-3.08	447.6	2727
$h_{N3b}$	-3.2	31.0	2758
T	-6.2	785.1	3513



② 地震力の算出

a. 地震力の算出方法

引張力の検討位置に発生する地震力 P は、平成 12 年建設省告示第 1389 号第 1 項第一号に示されている以下の式により求める。

$$P = k \times W_i$$

記号	記号の意味	単位
P	地震力	kN
k	「1.2 設計条件 (1) 地震力」で設定した設計震度	—
W <sub>i</sub>	区間重量	kN

ここで、「1.2 設計条件 (1) 設計震度」で設定していない GL-3.2 m 地点の設計震度 k を算出する。GL-3.2 m 地点は、地下部であるため平成 12 年建設省告示第 1449 号第一第 1 項第二号より設計震度  $k = 0.1 \times (1 - h/40)$  とする。ここで、地盤面からの高さ h による設計震度を算出した後、B クラス係数 1.5 を乗じ、設計震度 k を設定する。

各位置の設計震度 k を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	各位置の 設計震度	B クラス係数	設計震度 k
A	6.505	1.0	1.5	1.5
h <sub>N3a</sub>	4.705	0.3	1.5	0.45
S	-3.08	0.093	1.5	0.14
h <sub>N3b</sub>	-3.2	0.092	1.5	0.14
T	-6.2	0.085	1.5	0.13

b. 開口部にかかる地震力の計算結果

各位置における地震力を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	設計震度 k	区間重量 W <sub>i</sub> (kN)	地震力 P (kN)
A	6.505	1.5	95.7	143.6
h <sub>N3a</sub>	4.705	0.45	563.9	253.8
S	-3.08	0.14	447.6	62.7
h <sub>N3b</sub>	-3.2	0.14	31.0	4.4
T	-6.2	0.13	785.1	102.1

③ せん断力及び曲げモーメント

a. せん断力及び曲げモーメントの算出方法

せん断力  $Q_p$  及び曲げモーメント  $M_p$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表 3・2 はりの図表」より導出した以下の式により求める。

$$Q_p = P$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + \Sigma Q_{p(i-1)}$$

$$M_p = Q_p \times h_a + \Sigma Q_{p(i-1)} \times h_i$$

$$\Sigma M_p = M_p + \Sigma M_{p(i-1)}$$

記号	記号の意味	単位
$Q_p$	せん断力	kN
$M_p$	曲げモーメント	kN・m
$\Sigma Q_p$	積算せん断力	kN
$\Sigma M_p$	積算曲げモーメント	kN・m
$h_a$	各位置から重心までの高さ	m
$h_i$	区間高さ	m
$\Sigma Q_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算せん断力	kN
$\Sigma M_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの積算曲げモーメント	kN・m

b. せん断力及び曲げモーメントの計算結果

各位置における地震力、せん断力及び曲げモーメントを以下に示す。また、求めた曲げモーメント  $\Sigma M_p$  を、曲げモーメント  $M_1$  として採用する。

位置	高さ GL+ (m)	区間 高さ $h_i$ (m)	重心 高さ $h_a$ (m)	地震力 P (kN)	せん断力		曲げモーメント	
					$Q_p$ (kN)	$\Sigma Q_p$ (kN)	$M_p$ (kN・m)	$\Sigma M_p$ (kN・m)
A	6.505	—	—	143.6	143.6	462.8	1367	5544
$h_{N3a}$	4.705	1.8	1.148	253.8	253.8	716.6	1125	6669
S	-3.08	—	—	62.7	62.7	1335	2672	15230
$h_{N3b}$	-3.2	0.12	0.06	4.4	4.4	1340	161	15400
T	-6.2	—	—	102.1	102.1	1438	4325	19560

## ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法

鉄筋にかかる引張力は、以下により求める。検討位置に負荷される地震力から算出した軸力  $N1$  及び曲げモーメント  $M1$  を用いて、検討断面上のコンクリート及び同断面に配置されている鉄筋位置ごとの軸力  $N2$  及び曲げモーメント  $M2$  を算出する。算出にはコンクリート及び各鉄筋位置の軸力  $N2$  及び曲げモーメント  $M2$  の合計値が地震力から算出した軸力  $N1$  及び曲げモーメント  $M1$  と同等（軸力  $N1$  及び曲げモーメント  $M1$  を下回らない値）となるよう、計算に用いる中立軸比及び圧縮側の最外縁にかかる応力度を設定し、各断面における応力度分布より鉄筋にかかる引張力を求める。

なお、軸力は、圧縮力及び引張力のことをいう。鉄筋にかかる荷重の計算モデルを図 3.9-4 に示す。

## a. 条件設定

応力度分布から引張力を算出するに当たり、RC 規準「12 条 曲げ材の断面算定における基本仮定」に基づき、以下の条件設定を行う。

・ 中立軸比  $X_0$ 

検討位置に負荷される軸力  $N1$  及び曲げモーメント  $M1$  と応力度分布から求める軸力  $N2$  の合計及び曲げモーメント  $M2$  の合計は同一であることから、軸力  $N2$  の合計及び曲げモーメント  $M2$  の合計が、軸力  $N1$  及び曲げモーメント  $M1$  と等しくなる中立軸比  $X_0$  を設定する。

・ 圧縮側の最外縁にかかる応力度  $\sigma_0$ 

条件設定により設定する中立軸比  $X_0$  を基に、応力度分布より求める曲げモーメント  $M2$  の合計が、負荷する曲げモーメント  $M1$  と等しくなる圧縮側の最外縁にかかる応力度  $\sigma_0$  を求める。

b. 引張力の算出方法

断面にかかる軸力及び曲げモーメントは、RC 規準「4 章 部材の算定 13 条 梁の曲げに対する断面算定」より導出した以下の式により求める。

なお、以下の計算式は GL+4.705 m、GL-3.2 m 及び GL-6.2 m 位置での断面検討に適用する。

コンクリートの軸力及び曲げモーメント

$$N2 = \sigma_0 \times A / 2$$

$$M2 = N2 \times Lg$$

各位置における鉄筋の軸力及び曲げモーメント

$$N2 = \sigma_x \times A$$

$$M2 = N2 \times Lg$$

記号	記号の意味及び計算式	単位
N2	軸力(コンクリートの軸力は応力度分布が三角形であるため 1/2 となる。)	kN
M2	曲げモーメント	kN・m
$\sigma_0$	圧縮側の最外縁にかかる応力度	N/mm <sup>2</sup>
A	コンクリートの面積及び鉄筋の総断面積 コンクリート: $A = B_{RC} \times X_0$ 鉄筋: $A = A_{Ox} \times n_x$	mm <sup>2</sup>
Lg	断面の中心から重心までの距離 コンクリート: $Lg = D_{RC}/2 - X_0/3$ 鉄筋: $Lg = D_{RC}/2 - I$	mm
$\sigma_x$	鉄筋にかかる応力度 $\sigma_x = n_{sc} \times \sigma_0 \times X/X_0$	N/mm <sup>2</sup>
X	中立軸から鉄筋までの距離 $X = X_0 - I$	mm
X <sub>0</sub>	中立軸から圧縮側の最外縁までの距離 $X_0 = X_D \times D_{RC}$	mm
n <sub>x</sub>	鉄筋の本数	本
I	圧縮側最外縁から鉄筋までの距離	mm
X <sub>D</sub>	中立軸比	—

引張力の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
n <sub>sc</sub>	ヤング係数比(RC 規準から)	15	—
A <sub>Ox</sub>	呼び名 D38 の断面積(A <sub>O<sub>D38</sub></sub> ) (RC 規準から)	1140	mm <sup>2</sup>
	呼び名 D25 の断面積(A <sub>O<sub>D25</sub></sub> ) (RC 規準から)	507	mm <sup>2</sup>
	呼び名 D13 の断面積(A <sub>O<sub>D13</sub></sub> ) (RC 規準から)	127	mm <sup>2</sup>

⑤ GL+4.705 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力の算出

GL+4.705 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力 N3a は、「3.9 RC 部及び排気ダクトの検討 (5) RC 部及び排気ダクトの鉄筋にかかる引張力の算出 ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法」より各位置における鉄筋の軸力 N2 及び曲げモーメント M2 を算出し、各位置における鉄筋 1 本当たりの引張力 N3 を求める。求めた引張力のうち、新設躯体における位置での鉄筋 1 本当たりの引張力が最も大きいものを N3a として採用する。各位置における鉄筋の引張力の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
B <sub>RC</sub>	コンクリート部の幅	3.16	m
D <sub>RC</sub>	コンクリート部の奥行き	3.7	m
X <sub>D</sub>	中立軸比 ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法 a. 条件設定より求める数値 検討断面にかかる軸力 N1 : 872.3 kN 検討断面にかかる曲げモーメント M1 : 6669 kN・m	0.2485	—
σ <sub>0</sub>	最外縁にかかる応力度 ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法 a. 条件設定より求める数値	1.45	N/mm <sup>2</sup>

コンクリートにかかる軸力 N2 及び曲げモーメント M2 を以下に示す。

項目	重心までの距離 L <sub>g</sub> (m)	中立軸からの距離 X <sub>0</sub> (m)	応力度 σ <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	面積 A (mm <sup>2</sup> )	軸力 N2 (kN)	曲げモーメント M2 (kN・m)
コンクリート	1.544	0.920	1.45	2.908×10 <sup>6</sup>	2109	3257

鉄筋にかかる軸力 N2、曲げモーメント M2 及び 1 本当たりの引張力 N3 を以下に示す。

荷重の状態	位置 I (m)	呼び名	本数 n <sub>x</sub> (本)	重心までの距離 L <sub>g</sub> (m)	中立軸からの距離 X (m)	応力度 $\sigma_x$ (N/mm <sup>2</sup> )	面積 A (mm <sup>2</sup> )	軸力 N2 (kN)	曲げモーメント M2 (kN・m)	1 本当たりの引張力 N3 (kN)
圧縮	0.110	D38	15	1.740	0.810	19.15	17100	327.5	570	—
圧縮	0.255	D38	2	1.595	0.665	15.73	2280	35.9	58	—
圧縮	0.400	D38	15	1.450	0.520	12.30	17100	210.4	306	—
圧縮	0.550	D38	2	1.300	0.370	8.75	2280	20.0	26	—
圧縮	0.623	D38	2	1.227	0.297	7.03	2280	16.1	20	—
圧縮	0.750	D38	2	1.100	0.170	4.02	2280	9.2	11	—
圧縮	0.829	D38	2	1.021	0.091	2.16	2280	5.0	6	—
引張	0.980	D38	8	0.870	-0.060	-1.42	9120	-13.0	-12	1.7
引張	2.720	D38	8	-0.870	-1.800	-42.56	9120	-388.2	338	48.6
引張	2.854	D38	2	-1.004	-1.934	-45.73	2280	-104.3	105	52.2
引張	2.950	D38	2	-1.100	-2.030	-48.00	2280	-109.5	121	54.8
引張	3.059	D38	2	-1.209	-2.139	-50.57	2280	-115.3	140	57.7
引張	3.170	D38	2	-1.320	-2.250	-53.20	2280	-121.3	161	60.7
引張	3.310	D38	9	-1.460	-2.390	-56.51	10260	-579.8	847	64.5
引張	3.425	D38	2	-1.575	-2.505	-59.23	2280	-135.1	213	67.6 <sup>*8</sup>
引張	3.622	D25	9	-1.772	-2.702	-63.88	4563	-291.5	517	32.4

\*8：計算に用いる値

上記により求めた軸力 N2 及び曲げモーメント M2 の合計を以下に示す。

項目	コンクリート	鉄筋	合計	N1 及び M1 の値
軸力 N2 (kN)	2109	-1234	875	N1 = 872.3 (kN)
曲げモーメント M2 (kN・m)	3257	3427	6684	M1 = 6669 (kN・m)

上記から、計算より求めた軸力 N2 及び曲げモーメント M2 が軸力 N1 及び曲げモーメント M1 と同等（軸力 N1 及び曲げモーメント M1 を下回らない値）であることから、応力度分布は妥当である。よって、新設躯体における鉄筋 1 本当たりの引張力 N3 が最も大きいのは 3.425 m 地点であるため、GL+4.705 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力 N3a は「67.6 kN」とする。

⑥ GL-3.2 m断面における鉄筋1本当たりの引張力

GL-3.2 m断面における鉄筋1本当たりの引張力 $N_{3b}$ は、「3.9 RC部及び排気ダクトの検討(5) RC部及び排気ダクトの鉄筋にかかる引張力の算出 ④鉄筋にかかる引張力の算出方法」より各位置における鉄筋の軸力 $N_2$ 及び曲げモーメント $M_2$ を算出し、各位置における鉄筋1本当たりの引張力 $N_3$ を求める。求めた引張力のうち、新設躯体における位置での鉄筋1本当たりの引張力が最も大きいものを $N_{3b}$ として採用する。

各位置における鉄筋の引張力の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$B_{RC}$	コンクリート部の幅	3.16	m
$D_{RC}$	コンクリート部の奥行き	4.0	m
$X_D$	中立軸比 ④鉄筋にかかる引張力の算出方法 a. 条件設定より求める数値 検討断面にかかる軸力 $N_1$ : 2758 kN 検討断面にかかる曲げモーメント $M_1$ : 15400 kN・m	0.2399	—
$\sigma_0$	最外縁にかかる応力度 ④鉄筋にかかる引張力の算出方法 a. 条件設定より求める数値	3.31	N/mm <sup>2</sup>

コンクリートにかかる軸力 $N_2$ 及び曲げモーメント $M_2$ を以下に示す。

項目	重心までの距離 $L_g$ (m)	中立軸からの距離 $X_0$ (m)	応力度 $\sigma_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	軸力 $N_2$ (kN)	曲げモーメント $M_2$ (kN・m)
コンクリート	1.680	0.960	3.31	$3.034 \times 10^6$	5022	8437

鉄筋にかかる軸力 N2、曲げモーメント M2 及び 1 本当たりの引張力 N3 を以下に示す。

荷重の状態	位置 I (m)	呼び名	本数 n <sub>x</sub> (本)	重心 までの 距離 L <sub>g</sub> (m)	中立軸 からの 距離 X (m)	応力度 $\sigma_x$ (N/mm <sup>2</sup> )	面積 A (mm <sup>2</sup> )	軸力 N2 (kN)	曲げ モーメント M2 (kN・m)	1 本 当たりの 引張力 N3 (kN)
圧縮	0.110	D38	15	1.890	0.850	43.97	17100	751.9	1422	—
圧縮	0.220	D38	1	1.780	0.740	38.28	1140	43.7	78	—
圧縮	0.330	D38	2	1.670	0.630	32.59	2280	74.4	125	—
圧縮	0.440	D38	1	1.560	0.520	26.90	1140	30.7	48	—
圧縮	0.550	D38	15	1.450	0.410	21.21	17100	362.7	526	—
圧縮	0.700	D38	2	1.300	0.260	13.45	2280	30.7	40	—
圧縮	0.768	D25	9	1.232	0.192	9.93	4563	45.4	56	—
圧縮	0.900	D38	2	1.100	0.060	3.11	2280	7.1	8	—
圧縮	0.913	D13	7	1.087	0.047	2.44	889	2.2	3	—
引張	1.130	D38	8	0.870	-0.170	-8.80	9120	-80.3	-70	10.1
引張	2.870	D38	8	-0.870	-1.910	-98.79	9120	-	784	112.7
引張	2.986	D38	1	-0.986	-2.026	-104.8	1140	-	118	119.5
引張	3.087	D13	7	-1.087	-2.127	-110.1	889	-97.9	107	14.0
引張	3.100	D38	2	-1.100	-2.140	-110.7	2280	-	278	126.2
引張	3.210	D38	2	-1.210	-2.250	-116.4	2280	-	322	132.7
引張	3.320	D38	2	-1.320	-2.360	-122.1	2280	-	368	139.2
引張	3.430	D38	2	-1.430	-2.470	-127.8	2280	-	417	145.7
引張	3.547	D38	2	-1.547	-2.587	-133.8	2280	-	472	152.6
引張	3.657	D38	2	-1.657	-2.697	-139.5	2280	-	528	159.1 <sup>*8</sup>
引張	3.922	D25	9	-1.922	-2.962	-153.2	4563	-	1344	77.7

\*8：計算に用いる値

上記により求めた軸力 N2 及び曲げモーメント M2 の合計を以下に示す。

項目	コンクリート	鉄筋	合計	N1 及び M1 の値
軸力 N2 (kN)	5022	-2260	2762	N1 = 2758 (kN)
曲げモーメント M2 (kN・m)	8437	6974	15420	M1 = 15400 (kN・m)

上記から、計算より求めた軸力 N2 及び曲げモーメント M2 が軸力 N1 及び曲げモーメント M1 と同等（軸力 N1 及び曲げモーメント M1 を下回らない値）であることから、応力度分布は妥当である。よって、新設躯体における鉄筋 1 本当たりの引張力 N3 が最も大きいのは 3.657 m 地点であるため、GL-3.2 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力 N3b は「159.1 kN」とする。



⑦ GL-6.2 m 断面における定着金物付鉄筋の引張力

GL-6.2 m 地点は新設鉄筋の端となるため、図 3.9-4 に示す A-A 矢視の図の中心を超える引張側の新設鉄筋の位置にかかる引張力の合計から鉄筋 1 本当たりの引張力を求める。GL-6.2 m 断面における定着金物付鉄筋 1 本当たりの引張力  $N_{3c}$  は、「3.9 RC 部及び排気ダクトの検討 (5) RC 部及び排気ダクトの鉄筋にかかる引張力の算出 ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法」より各位置における鉄筋の軸力  $N_2$  及び曲げモーメント  $M_2$  を算出し、検討する位置での引張力を引張力  $N_3$  とする。検討する位置での引張力を合計し、検討した鉄筋の本数で割ることで、定着金物付鉄筋 1 本当たりの引張力  $N_{3c}$  を求める。

各位置における鉄筋の引張力の算出に用いる数値を以下に示す。

記号	記号の意味	数値	単位
$B_{RC}$	コンクリート部の幅	3.16	m
$D_{RC}$	コンクリート部の奥行き	4.0	m
$X_D$	中立軸比 ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法 a. 条件設定より求める数値 検討断面にかかる軸力 $N_1$ : 3513 kN 検討断面にかかる曲げモーメント $M_1$ : 19560 kN・m	0.2488	—
$\sigma_0$	最外縁にかかる応力度 ④ 鉄筋にかかる引張力の算出方法 a. 条件設定より求める数値	4.09	N/mm <sup>2</sup>

コンクリートにかかる軸力  $N_2$  及び曲げモーメント  $M_2$  を以下に示す。

項目	重心までの距離 $L_g$ (m)	中立軸からの距離 $X_0$ (m)	応力度 $\sigma_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	軸力 $N_2$ (kN)	曲げモーメント $M_2$ (kN・m)
コンクリート	1.668	0.996	4.09	$3.148 \times 10^6$	6438	10740

鉄筋にかかる軸力 N2、曲げモーメント M2 及び検討する引張力 N3 を以下に示す。

荷重の状態	位置 I (m)	呼び名	本数 n <sub>x</sub> (本)	重心 までの 距離 Lg (m)	中立軸 からの 距離 X (m)	応力度 $\sigma_x$ (N/mm <sup>2</sup> )	面積 A (mm <sup>2</sup> )	軸力 N2 (kN)	曲げ モー メント M2 (kN・m)	検討 する 引張力 N3 (kN)
圧縮	0.110	D38	15	1.890	0.886	54.58	17100	933.4	1765	—
圧縮	0.220	D38	1	1.780	0.776	47.80	1140	54.5	98	—
圧縮	0.330	D38	2	1.670	0.666	41.03	2280	93.6	157	—
圧縮	0.440	D38	1	1.560	0.556	34.25	1140	39.1	61	—
圧縮	0.550	D38	15	1.450	0.446	27.48	17100	470.0	682	—
圧縮	0.716	D25	4	1.284	0.280	17.25	2028	35.0	45	—
圧縮	0.768	D25	9	1.232	0.228	14.05	4563	64.2	80	—
圧縮	0.869	D25	4	1.131	0.127	7.83	2028	15.9	18	—
圧縮	0.913	D13	7	1.087	0.083	5.12	889	4.6	6	—
引張	1.014	D25	8	0.986	-0.018	-1.11	4056	-4.6	-5	—
引張	1.022	D25	4	0.978	-0.026	-1.61	2028	-3.3	-4	—
引張	1.135	D25	14	0.865	-0.139	-8.57	7098	-60.9	-53	—
引張	2.865	D25	14	-0.865	-1.869	-115.2	7098	-	708	817.7
引張	2.956	D25	4	-0.956	-1.960	-120.8	2028	-	235	245.0
引張	2.986	D25	8	-0.986	-1.990	-122.6	4056	-	491	497.3
引張	3.056	D25	4	-1.056	-2.060	-126.9	2028	-	272	257.4
引張	3.087	D13	7	-1.087	-2.091	-128.8	889	-	125	—
引張	3.156	D25	4	-1.156	-2.160	-133.1	2028	-	313	270.0
引張	3.256	D25	4	-1.256	-2.260	-139.3	2028	-	355	282.6
引張	3.356	D25	4	-1.356	-2.360	-145.4	2028	-	400	294.9
引張	3.456	D25	4	-1.456	-2.460	-151.6	2028	-	448	307.5
引張	3.556	D25	4	-1.556	-2.560	-157.7	2028	-	498	319.9
引張	3.656	D25	4	-1.656	-2.660	-163.9	2028	-	551	332.4
引張	3.922	D25	9	-1.922	-2.926	-180.3	4563	-	1582	—

上記により求めた軸力 N2、曲げモーメント M2 及び検討する引張力 N3 の合計を以下に示す。

項目	コンクリート	鉄筋	合計	N1 及び M1 の値
軸力 N2 (kN)	6438	-2921	3517	N1 = 3513 (kN)
曲げモーメント M2 (kN・m)	10740	8828	19570	M1 = 19560 (kN・m)
検討する引張力 N3 (kN)	—	—	3625 (54 本分)	—

上記から、計算より求めた軸力 N2 及び曲げモーメント M2 が軸力 N1 及び曲げモーメント M1 と同等（軸力 N1 及び曲げモーメント M1 を下回らない値）であることから、応力度分布は妥当である。図 3.9-4 に示す A-A 矢視の図の中心を超える引張側の新設鉄筋の位置は 2.865 m から 3.656 m であるため、検討する引張力 N3 の合計は 3625 kN となる。また、検討する定着金物付鉄筋の本数は 54 本である。よって、GL-6.2 m 断面における定着金物付鉄筋 1 本当りりの引張力 N3c は「67.2 kN」とする。

(6) 既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) 上部にかかるせん断力

既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) が縦筋 (D38) の引張力によってせん断破壊されないことを確認する。

既設コンクリート接合のシアコネクタ (D16) 上部 1 本当たりにかかるせん断力  $\tau_{2CA}$  は、あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針「第 2 章 設計指針 2.2.1 一次設計」より導出した以下の式により求める。

$$\tau_{2CA} = N3a/n_{2CA}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_{2CA}$	シアコネクタ (D16) 上部 1 本当たりにかかるせん断力	6.8	kN
N3a	GL+4.705 m 断面における鉄筋 1 本当たりの引張力	67.6	kN
$n_{2CA}$	シアコネクタ (D16) 上部の本数	10	本

(7) 既設配筋 (D25) にかかる付着応力度

既設配筋 (D25) が縦筋 (D38) にかかる引張力によって引き抜かれないことを確認する。

① 既設配筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度の算出

既設配筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度  $\tau_{1D25}$  は、RC 規準「16 条 付着及び継手」より導出した以下の式により求める。

$$\tau_{1D25} = N3a / (\phi_{D25} \times La_{1D25})$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_{1D25}$	既設配筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度	0.61	N/mm <sup>2</sup>
$La_{1D25}$	既設配筋 (D25) の有効付着長さ	1405	mm

② コンクリートの短期許容付着応力度 (既設躯体) の算出

短期許容付着応力度 (既設躯体)  $0.8sf_{Fc20.59}$  は、RC 規準「16 条 付着及び継手」より以下の式により求める。

$$0.8sf_{Fc20.59} = 0.8 \times sf_{Fc20.59}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$0.8sf_{Fc20.59}$	コンクリートの短期許容付着応力度 (既設躯体)	1.64	N/mm <sup>2</sup>

(8) 定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる付着応力度の検討

定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力によって引き抜かれないことを確認する。

① 定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる付着応力度の算出

定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる付着応力度  $\tau_{2D25}$  は、RC 規準「16条 付着及び継手」より導出した以下の式により求める。

$$\tau_{2D25} = T_{dN3b} / (\phi_{D25} \times La_{2D25})$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\tau_{2D25}$	定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる付着応力度	0.72	N/mm <sup>2</sup>
$La_{2D25}$	定着金物付鉄筋(D25)の有効付着長さ	1400	mm

ここで、定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力  $T_{dN3b}$  は、以下の式により求める。

なお、定着金物付鉄筋(D25)は、縦筋(D38)1本当たりにかかる引張力を定着金物付鉄筋(D25)2本で負担する。

$$T_{dN3b} = N3b / n_{N3b}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$T_{dN3b}$	定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力	79550	N
N3b	GL-3.2 m断面における鉄筋1本当たりの引張力	159.1	kN
$n_{N3b}$	定着金物付鉄筋(D25)の本数	2	本

(9) 定着金物付鉄筋(D25)にかかる引張力の検討

定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力によって破断されないことを確認する。

① 定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力

定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力は、「3.9 RC部及び排気ダクトの検討(5) RC部及び排気ダクトの鉄筋にかかる引張力の算出」で求めたGL-6.2 m断面における定着金物付鉄筋(D25)1本当たりの引張力  $N3c$  の値を用いる。

記号	記号の意味	数値	単位
N3c	GL-6.2 m断面における定着金物付鉄筋(D25)1本当たりの引張力	67.2	kN

② 定着金物付鉄筋(D25)の短期許容引張力の算出

定着金物付鉄筋(D25)の短期許容引張力 Pa は、各種合成構造設計指針・同解説「4.2 頭付きアンカーボルトの設計」に示されている以下の式により求める。

なお、定着金物付鉄筋(D25)の短期許容引張力 Pa は、以下の式により求めた結果の最小値を採用する。計算に用いる定着金物付鉄筋(D25)54 本分の有効水平投影面積を図 3.9-5 に示す。

$$Pa_1 = \phi 1 \times ft \times A_{O_{D25}}$$

$$Pa_2 = \phi 2 \times c \sigma t \times A_{c_{fn}} / n_{fn}$$

記号	記号の意味及び計算式	数値	単位
Pa	定着金物付鉄筋(D25)の短期許容引張力	116.1	kN
Pa <sub>1</sub>	定着金物付鉄筋(D25)の耐力で決まる 1 本当たりの許容引張耐力	174.9	kN
Pa <sub>2</sub>	コーン状破壊により決まる 1 本当たりの許容引張耐力	116.1	kN
φ 1	短期荷重の低減係数	1	—
φ 2	短期荷重の低減係数	2/3	—
c σ t	コンクリートの引張強度 c σ t = 0.31 × [Fc20.59] <sup>1/2</sup>	1.40	N/mm <sup>2</sup>
A <sub>c<sub>fn</sub></sub>	定着金物付鉄筋(D25)54 本分のコーン状破壊に対する有効水平投影面積	6.721 × 10 <sup>6</sup>	mm <sup>2</sup>
n <sub>fn</sub>	定着金物付鉄筋(D25)の本数	54	本

(10) 定着板にかかるコンクリート支圧強度の検討

以下の項目では、定着金物のうち定着板について検討を行う。

① 許容引張時の頭部支圧応力度の算出

許容引張時の頭部支圧応力度  $\sigma_{t_{fn}}$  は、各種合成構造設計指針・同解説「4.2 頭付きアンカーボルトの設計」に示されている以下の式により求める。

$$\sigma_{t_{fn}} = Pa/Ao_{fn}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{t_{fn}}$	許容引張時の頭部支圧応力度	44.5	N/mm <sup>2</sup>

② 定着板にかかるコンクリートの支圧強度の算出

許容引張時の頭部支圧応力度は、定着板にかかるコンクリートの支圧強度  $f_n$  以下となるようにする。定着板にかかるコンクリートの支圧強度  $f_n$  は、各種合成構造設計指針・同解説「4.2 頭付きアンカーボルトの設計」に示されている以下の式により求める。ただし、 $[(Ac_{fn}/n_{fn})/Ao_{fn}]^{1/2}$  の計算値が 6 を超える場合は 6 とする。

$$f_n = [(Ac_{fn}/n_{fn})/Ao_{fn}]^{1/2} \times Fc20.59$$

ここで、 $[(Ac_{fn}/n_{fn})/Ao_{fn}]^{1/2}$  の計算値は 6.90 であり 6 を超えるため、「6」として計算を行う。

記号	記号の意味	数値	単位
$f_n$	定着板にかかるコンクリートの支圧強度	123.5	N/mm <sup>2</sup>

(11) 定着板にかかる曲げ応力度の検討

定着板にかかる曲げ応力度が許容応力度以内であることを確認する。

① 定着板にかかる曲げ応力度の算出

定着板にかかる曲げ応力度  $\sigma_{M_{fn}}$  は、煙突構造設計指針「7.3 鋼製煙突の断面算定 7.3.1 筒身部材の断面算定」に示されている以下の式により求める。

$$\sigma_{M_{fn}} = M_{fn}/Z_{fn}$$

記号	記号の意味	数値	単位
$\sigma_{M_{fn}}$	定着板にかかる曲げ応力度	22.9	N/mm <sup>2</sup>

ここで、定着板にかかる曲げモーメント  $M_{fn}$  は、機械工学便覧「3.5 せん断力, 曲げモーメント, たわみ, 傾斜の図表 表 3・2 はりの図表」に示されている以下の式により求める。定着板を片持ち梁の等分布荷重の条件で計算を行う。

$$M_{fn} = \sigma_{t_{fn}} \times (D_{fn}/2)^2/2$$

記号	記号の意味	数値	単位
$M_{fn}$	定着板にかかる曲げモーメント	22080	N・mm

定着板の断面係数  $Z_{fn}$  は、機械工学便覧「3.2 断面二次モーメントおよび断面係数 表 3-1」に示されている以下の式により求める。定着板の概略図を図 3.9-6 に示す。

$$Z_{fn} = B_{fn} \times t_{fn}^2/6$$

記号	記号の意味	数値	単位
$Z_{fn}$	定着板の断面係数	968.0	mm <sup>3</sup>

(12) RC 部及び排気ダクトの各部位にかかる応力度の計算結果

「3.9 RC 部及び排気ダクトの検討」で求めた計算値と短期許容応力度を以下に示す。

発生応力度	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
縦筋(D38)1本当たりにかかる付着応力度 $\tau_{D38}$	0.87	$0.8sf_{Fc21} = 1.68$
シアコネクタ(D16)下部1本当たりにかかるせん断力 $\tau_{1CA}$	$15.9^{*9}$	$qa = 41.0^{*9}$
シアコネクタ(D16)上部1本当たりにかかるせん断力 $\tau_{2CA}$	$6.8^{*9}$	$qa = 41.0^{*9}$
既設配筋(D25)1本当たりにかかる付着応力度 $\tau_{1D25}$	0.61	$0.8sf_{Fc20.59} = 1.64$
定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる付着応力度 $\tau_{2D25}$	0.72	$0.8sf_{Fc21} = 1.68$
定着金物付鉄筋(D25)1本当たりにかかる引張力 N3c	$67.2^{*9}$	$Pa = 116.1^{*9}$
許容引張時の頭部支圧応力度 $\sigma_{t_{fn}}$	44.5	$fn = 123.5$
定着板にかかる曲げ応力度 $\sigma_{M_{fn}}$	22.9	$sfb_1 = 271$

\*9 : kN



3.10 RC 部及び排気ダクトの断面の検討

RC 部及び排気ダクトにおいて、断面形状の異なる 3 か所について強度確認を行う。断面算定箇所を図 3.10-1 に、検討断面を図 3.10-2～図 3.10-4 に示す。

(1) RC 部及び排気ダクトの使用材料

コンクリート	Fc21、Fc20.59
異形鉄筋	SD295A D13、D16 SD345 D25、D38

(2) 断面算定箇所における設計荷重

RC 部及び排気ダクトにかかる設計荷重を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	軸力 N (kN)	せん断力 $\Sigma Q$ (kN)	曲げモーメント $\Sigma M$ (kN・m)
RC 部	0.0	2019	1233	11250
R	-1.03	2279	1272	12550
S	-3.08	2727	1335	15230
T	-6.2	3513	1438	19560
U	-7.2	3897	1488	21030

上記の各位置における軸力、せん断力及び曲げモーメントのうち、図 3.10-2～図 3.10-4 に示す断面位置の最大荷重を以下の表に示す。

なお、煙道下の設計荷重には、検討断面より荷重の大きい位置 S の値を採用する。

項目		軸力 N (kN)	せん断力 $\Sigma Q$ (kN)	曲げモーメント $\Sigma M$ (kN・m)
RC 部 (GL+0.0 m)	東西+M	2019	1233	11250
	東西-M	2019	1233	-11250
	南北+M	2019	1233	11250
	南北-M	2019	1233	-11250
煙道下	東西+M	2727	1335	15230
	東西-M	2727	1335	-15230
	南北+M	2727	1335	15230
	南北-M	2727	1335	-15230
T (GL-6.2 m)	東西+M	3513	1438	19560
	東西-M	3513	1438	-19560
	南北+M	3513	1438	19560
	南北-M	3513	1438	-19560

(3) 断面算定箇所における応力度

RC 断面計算 (Ver. 7) プログラム\*10 に、図 3.10-2～図 3.10-4 の断面における設計荷重の軸力、せん断力、曲げモーメントの最大荷重を入力して応力度を算出した。その結果を以下に示す。

項目		コンクリート 圧縮応力度 $\sigma_{cc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート せん断応力度 $\tau_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋引張応力度 $\sigma_{ts}$ (N/mm <sup>2</sup> )
RC 部 (GL+0.0 m)	東西+M	2.98	0.25	161.1
	東西-M	2.27	0.23	61.1
	南北+M	2.60	0.20	92.2
	南北-M	2.59	0.20	90.4
煙道下	東西+M	3.27	0.51	151.6
	東西-M	2.69	0.47	74.6
	南北+M	3.82	0.19	175.2
	南北-M	4.32	0.19	112.4
T (GL-6.2 m)	東西+M	4.09	0.27	180.5
	東西-M	3.41	0.26	92.8
	南北+M	3.93	0.21	128.5
	南北-M	3.95	0.21	132.2

(4) 許容応力度

コンクリートの許容圧縮応力度、コンクリートの許容せん断応力度及び鉄筋 (SD345) の許容引張応力度を以下に示す。

なお、コンクリートの許容応力度は、許容応力度の小さい既設コンクリートの値を採用する。

項目	コンクリートの 短期許容圧縮応力度 $sfc_{Fc20.59}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリートの 短期許容せん断応力度 $sfc_{S_{Fc20.59}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD345) の 短期許容引張応力度 $ft$ (N/mm <sup>2</sup> )
数値	13.7	1.02	345

\*10 : RC 断面計算 (Ver. 7) プログラムは、FORUM8 社による計算コードで、許容応力度法、限界状態設計法による RC 断面計算プログラムで、様々な断面形状を持つ RC 断面の応力度計算、必要鉄筋量、最小鉄筋量、抵抗モーメント、終局モーメント、初降伏モーメントの計算及び限界状態設計法による断面照査を行うプログラムである。

4. 各部に係る応力の計算結果

4.1 鋼板部に係る応力の計算結果

(1) 鋼板部にかかる合成応力度の計算結果

鋼板部にかかる合成応力度及び短期許容応力度を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	合成応力度 $\sigma_{Mc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 fc (N/mm <sup>2</sup> )
F	34.0	12.0	180.1
E	28.0	37.0	173.2
D	22.0	49.3	194.4
C	16.0	76.8	189.3
B	10.0	78.1	207.1
A	6.505	79.4	216.1

上記から、各位置における合成応力度は、短期許容応力度以下である。

(2) 鋼板部のオバリングに対する検討結果

オバリングに対する検討結果を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	最小鋼板板厚 r/200 (mm)	鋼板部の板厚 ti (mm)
F	34.0	4.2	9
E	28.0	4.5	9
D	22.0	4.9	12
C	16.0	5.3	12
B	10.0	5.7	16
A	6.505	5.9	19

上記から、鋼板部の板厚は、最小鋼板板厚以上である。

4.2 鋼板部の開口部に係る応力の計算結果

各位置の開口部にかかる応力度及び短期許容応力度を以下に示す。

位置	高さ GL+ (m)	記号	記号の意味	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
点検口	9.25	a 点	$\sigma_a$	a 点にかかる座屈応力度	68.1	216.1
		b 点	$\sigma_{b\alpha b}$	b 点にかかる座屈応力度	106.3	216.1
	8.75	c 点	$\sigma_c$	c 点にかかる座屈応力度	70.0	216.1
		d 点	$\sigma_{d\alpha d}$	d 点にかかる座屈応力度	109.5	216.1
ダクト	8.1	a 点	$\sigma_a$	a 点にかかる座屈応力度	73.7	216.1
		b 点	$\sigma_{b\alpha b}$	b 点にかかる座屈応力度	105.7	216.1
	7.5	c 点	$\sigma_c$	c 点にかかる座屈応力度	75.8	216.1
		d 点	$\sigma_{d\alpha d}$	d 点にかかる座屈応力度	108.9	216.1

上記から、各位置の開口部にかかる応力度は、短期許容応力度以下である。

4.3 脚部に係る応力の計算結果

脚部の各部位にかかる応力度及び短期許容応力度を以下に示す。

発生応力度	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張応力度 $\sigma_t$	97.1	$f_{ts} = 215$
アンカーボルト 1 本当たりにかかるせん断応力度 $\tau$	5.0	$L_{fs} = 161$
アンカープレートにかかる圧縮応力度 $\sigma_{AC}$	3.4	$sf_{cF_{c21}} = 14.0$
アンカープレートにかかる曲げ応力度 $\sigma_{Ab}$	97.0	$sf_{b2} = 375$
周方向補強板にかかる曲げ応力度 $\sigma_{rb}$	33.3	$fb_1 = 235$
周方向補強板にかかるせん断応力度 $\tau_A$	64.9	$sfs = 135$
コンクリートの側面にかかるせん断応力度 $\tau_c$	0.35	$sf_{cS_{F_{c21}}} = 1.05$
ベースプレートにかかる組合せ応力度 $\sigma_{BC}$	3.9	$sf_{cF_{c21}} = 14.0$
ベースプレートにかかる曲げ応力度 $\sigma_{Bb}$	99.8	$sf_{b1} = 271$
フランジプレートにかかる曲げ応力度 $\sigma_{Fb}$	91.4	$sf_{b2} = 375$
リブプレートにかかる圧縮応力度 $\sigma_{RC}$	80.3	$\sigma_{Rk} = 235$
溶接部にかかるせん断応力度 $\tau_w$	58.2	$sfs = 135$

上記から、脚部の各部位にかかる応力度は、短期許容応力度以下である。

4.4 RC 部及び排気ダクトに係る応力の計算結果

RC 部及び排気ダクトの各部位にかかる応力度及び短期許容応力度を以下に示す。

発生応力度	計算値 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
縦筋 (D38) 1 本当たりにかかる付着応力度 $\tau_{D38}$	0.87	$0.8sf_{Fc21} = 1.68$
シアコネクタ (D16) 下部 1 本当たりにかかるせん断力 $\tau_{1CA}$	$15.9^{*11}$	$q_a = 41.0^{*11}$
シアコネクタ (D16) 上部 1 本当たりにかかるせん断力 $\tau_{2CA}$	$6.8^{*11}$	$q_a = 41.0^{*11}$
既設配筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度 $\tau_{1D25}$	0.61	$0.8sf_{Fc20.59} = 1.64$
定着金物付鉄筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度 $\tau_{2D25}$	0.72	$0.8sf_{Fc21} = 1.68$
定着金物付鉄筋 (D25) 1 本当たりにかかる引張力 $N_{3c}$	$67.2^{*11}$	$P_a = 116.1^{*11}$
許容引張時の頭部支圧応力度 $\sigma_{t_{fn}}$	44.5	$f_n = 123.5$
定着板にかかる曲げ応力度 $\sigma_{M_{fn}}$	22.9	$sf_{b1} = 271$

\*11 : kN

上記から、RC 部及び排気ダクトの各部位にかかる応力度は、短期許容応力度以下である。

4.5 RC 部及び排気ダクトの断面に係る応力の計算結果

RC 部及び排気ダクトにかかる応力度を以下に示す。

項目		コンクリート 圧縮応力度 $\sigma_{cc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート せん断応力度 $\tau_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋引張応力度 $\sigma_{ts}$ (N/mm <sup>2</sup> )
RC 部 (GL+0.0 m)	東西+M	2.98	0.25	161.1
	東西-M	2.27	0.23	61.1
	南北+M	2.60	0.20	92.2
	南北-M	2.59	0.20	90.4
煙道下	東西+M	3.27	0.51	151.6
	東西-M	2.69	0.47	74.6
	南北+M	3.82	0.19	175.2
	南北-M	4.32	0.19	112.4
T (GL-6.2 m)	東西+M	4.09	0.27	180.5
	東西-M	3.41	0.26	92.8
	南北+M	3.93	0.21	128.5
	南北-M	3.95	0.21	132.2

RC 部及び排気ダクトの短期許容応力度を以下に示す。

項目	コンクリートの 短期許容圧縮応力度 $sf_{c_{Fc20.59}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリートの 短期許容せん断応力度 $sf_{\tau_{Fc20.59}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋の 短期許容引張応力度 $ft$ (N/mm <sup>2</sup> )
数値	13.7	1.02	345

上記から、RC 部及び排気ダクトにかかる応力度は、短期許容応力度以下である。

5. 評価

検討の結果、各部材の設計応力度は許容応力度以下であるため、排気筒は構造上必要な強度を満足している。

表1 評価における記号及び端数処理について (1/12)

2. 設計仕様、3. 応力計算及び4. 各部に係る応力の計算結果における使用記号一覧及び有効数字5ケタ目の処理方法を以下に示す。

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
A	A	コンクリート及び鉄筋の断面積の合計 コンクリート： $A = B_{RC} \times X_0$ 鉄筋： $A = A_{Ox} \times n_x$	4ケタ	mm <sup>2</sup>	切上げ
	A <sub>B</sub>	ベースプレートの断面積 $= \pi/4 \times (O.D_B^2 - I.D_B^2)$	4ケタ	mm <sup>2</sup>	切下げ
	A <sub>F</sub>	受風面積(筒身) = $OD' \times h_i$ 受風面積(RC部) = $h_{RC} \times B_{RC}$	小数第2位	m <sup>2</sup>	切上げ
	A <sub>c</sub>	コンクリートのせん断面積 $= (2 \times \pi \times D_A / (n_A / 2)) \times L_b$	4ケタ	mm <sup>2</sup>	切下げ
	A <sub>cfn</sub>	定着金物付鉄筋(D25)54本分のコーン状破壊に対する有効水平投影面積	$6.721 \times 10^6$	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>e</sub>	排気筒筒身断面積(腐食代を考慮) $= \pi (OD^2 - IDe^2) / 4$	4ケタ	mm <sup>2</sup>	切下げ
		開口部 $= 2 \times r \{ (\theta_2 - \theta_1) \times t_{ew} + \theta_2 \times t_{sw} \}$	4ケタ	mm <sup>2</sup>	切下げ
	A <sub>o</sub>	アンカーボルトの有効断面積(J I S G 3 1 3 8より)	1470	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>oD13</sub>	呼び径D13の断面積(RC規準より)	127	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>oD16</sub>	呼び径D16の断面積(RC規準より)	199	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>oD25</sub>	呼び径D25の断面積(RC規準より)	507	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>oD38</sub>	呼び径D38の断面積(RC規準より)	1140	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>ofn</sub>	定着板(D25)の支圧面積(カタログ値)	2610	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>Ox</sub>	A <sub>oD13</sub> A <sub>oD25</sub> A <sub>oD38</sub> の断面積	整数	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>w</sub>	溶接部の面積 = $2 \times 0.7 S_w (hr - 2 \times R_w)$	4ケタ	mm <sup>2</sup>	切下げ
	2a	開口高さ(点検口)	800	mm	—
		開口高さ(ダクト)	900	mm	—
	a	開口高さの半分(点検口)	400	mm	—
		開口高さの半分(ダクト)	450	mm	—
B	B	$(B_H + B_0) / 2$	小数第3位	m	—
	B <sub>fn</sub>	定着板の幅	12	mm	—
	B <sub>RC</sub>	RC躯体幅	3.87、3.16	m	—
	B <sub>D</sub>	$= (1 - 3/4 \lambda_B)^2 \times 1 / (1 + (2[H \times B]^{1/2}) / L_H)$	小数第3位	—	切上げ
	B <sub>H</sub>	煙突基準高さでの塔体幅	1.518	m	—
	B <sub>0</sub>	煙突基礎部での幅	2.350	m	—
	B <sub>b</sub>	ベースプレート幅	400	mm	—
	B <sub>d</sub>	筒身外径Dによる円断面に等しくなるような正方形断面の長さの半分 $= [\pi \cdot D^2 / 4]^{1/2} / 2$	4ケタ 整数	mm	切上げ
	B <sub>f</sub>	フランジプレート幅	190.5	mm	—



表1 評価における記号及び端数処理について (2/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	Bg	風向きに対する見付幅	2.35	m	—
	Bta	アンカーボルトの許容引張耐力 = Lft × Ao	小数第1位	kN	切下げ
	bA	アンカープレートの幅	370	mm	—
	2b	開口幅(点検口)	800	mm	—
		開口幅(ダクト)	1000	mm	—
	b	開口幅の半分(点検口)	400	mm	—
		開口幅の半分(ダクト)	500	mm	—
	br	リブプレート幅	185.5	mm	—
C	C <sub>D</sub>	風力係数 0.9 k <sub>z</sub> : 風荷重(建築・筒身) 1.2 k <sub>z</sub> : 風荷重(建築・RC) 0.7 : 風方向荷重(煙突・筒身) 2.1 : 風方向荷重(煙突・RC)	小数第2位 (風荷重) 小数第1位	—	切上げ
	C <sub>g</sub>	$1/(2\alpha+3) - \lambda_B/(2\alpha+4)$	小数第3位	—	切上げ
	C'g	$2 \times I_H / (\alpha+3) \times [B_b]^{1/2}$	小数第3位	—	切上げ
	Cr	共振時風力係数 = $0.57 / [(\zeta D)]^{1/2}$	小数第1位	—	切上げ
D	D	開口部の外径(点検口) A-A 断面	2283	mm	—
		開口部の外径(ダクト) A-A 断面	2311	mm	—
		開口部の外径(点検口) B-B 断面	2295	mm	—
		開口部の外径(ダクト) B-B 断面	2326	mm	—
	D <sub>fn</sub>	定着板の直径(カタログ値)	63	mm	—
	D <sub>RC</sub>	RC 躯体奥行き	3.87、4.0	m	—
	D <sub>A</sub>	アンカープレートの中心での直径	2331	mm	—
	D <sub>2H/3</sub>	高さ 2H/3 の位置の筒身外径 = $1.518 + ((2.350 - 1.518) * (40 - 28.84)) / 33.495$ 高さ 2H/3 = $33.495 * 2/3 + 6.505$	小数第3位	m	切上げ
	Db	外径(GL+6.505)	2350	mm	—
	φD	振動モード補正係数 = $(Ma / (5 \times Mp)) \times ((0.5B_H / B_0 - 0.3) (\beta - 2) + 1.4) \times \lambda$	小数第3位	—	切上げ
	ζD	風方向の一次減衰定数	0.01	—	—
	da	アンカーボルトのねじの呼び径	48	mm	—
	df	アンカーボルトの穴径	58	mm	—
E	E <sub>C</sub>	既設コンクリートのヤング率(RC 規準) = $3.35 \times 10^4 \times (\gamma_{Ec} / 24)^2 \times (Fc20.59/60)^{(1/3)}$	4ケタ	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	E <sub>m</sub>	風速の鉛直分布係数 = $Er^2 \cdot Gf$	小数第3位	—	切上げ
	E <sub>H</sub>	風速の鉛直分布係数 E の基準高さ H における値 = $Er \cdot Eg$	小数第3位	—	切上げ

表1 評価における記号及び端数処理について (3/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	Er	平成12年建設省告示第1454号の下表によって算出した平均風速の高さ方向(鉛直)の分布を表す係数 $=1.7 \times (H/Z_G)^\alpha$	小数第3位	—	切上げ
	Eg	小地形による風速の割り増し係数	1	—	—
	Eg <sub>I</sub>	小地形による乱れの強さの補正係数	1	—	—
	Ez	建設地地表面に応じた風速の鉛直分布係数Eの地表面高さZにおける値 $=Er \cdot Eg$ Er:高さ方向の分布係数 $=1.7 \times (h/Z_G)^\alpha$ $=1.7 \times (Z_{ba}/Z_G)^\alpha$ Eg:小地形による風速の割り増し係数=1	4ケタ 小数第3位	—	切上げ
	Ez <sub>2H/3</sub>	建設地地表面に応じた風速の鉛直分布係数Eの地表面高さ2H/3における値 $=Er_{2H/3} \times Eg$ Er <sub>2H/3</sub> :2H/3の高さ方向の分布係数 $=1.7 \times (2H/3/Z_G)^\alpha$	小数第2位	—	切上げ
	Es	筒身鋼板のヤング率 (SS400)	$2.05 \times 10^5$	N/mm <sup>2</sup>	—
F	F	新設躯体コンクリートの設計基準強度	21	N/mm <sup>2</sup>	
		既設躯体コンクリートの設計基準強度	20.59	N/mm <sup>2</sup>	
		異形鉄筋(SD295A)の基準強度	295	N/mm <sup>2</sup>	
		異形鉄筋(SD345)の基準強度	345	N/mm <sup>2</sup>	
		鋼材(SS400)の基準強度(t≤40)	235	N/mm <sup>2</sup>	—
		鋼材(SS400)の基準強度(40<t≤100)	215	N/mm <sup>2</sup>	
		鋼材(TMCP325C)の基準強度(40<t≤100)	325	N/mm <sup>2</sup>	
		アンカーボルト(SNR400B)の基準強度(t≤40)	235	N/mm <sup>2</sup>	
		アンカーボルト(SNR400B)の基準強度(40<t≤100)	215	N/mm <sup>2</sup>	
	Fc21	コンクリート強度(新設躯体)	21	N/mm <sup>2</sup>	—
	Fc20.59	コンクリート強度(既設躯体) $=210 \times 9.80665/100$	20.59	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	Ff	$= (4 \times f_L \times L_H/U_H) / (1 + 71 \times (f_L \times L_H/U_H)^2)^{5/6}$	小数第3位	—	切上げ
	fb <sub>1</sub>	鋼材(SS400)の圧縮、引張、曲げの短期許容応力度(t≤40)	235	N/mm <sup>2</sup>	—
	fb <sub>2</sub>	鋼材(TMCP325C)の圧縮、引張、曲げの短期許容応力度(40<t≤100)	325	N/mm <sup>2</sup>	—
	fc	筒身の局部座屈に対する短期許容応力度 $=fc'' \times 1.5$	小数第1位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	fc''	筒身の局部座屈に対する長期許容応力度 $= (105 - 0.00034 \times F \times OD/te) \times F / (132 + 0.00065 \times F \times OD/te)$	小数第1位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ

表1 評価における記号及び端数処理について (4/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	fn	定着板にかかるコンクリートの支圧強度 $= [(Ac_{fn}/n_{fn})/Ao_{fn}]^{1/2} \times Fc20.59$ $[(Ac_{fn}/n_{fn})/Ao_{fn}]^{1/2}$ の計算値が 6 を超える場合、「6」として計算を行う。	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	f <sub>L</sub>	一次固有振動数 =1/T	小数第 3 位	Hz	切上げ
	ft	鉄筋の短期許容引張応力度	345	N/mm <sup>2</sup>	—
	f <sub>D16</sub>	鋼材の規格降伏点強度	295	N/mm <sup>2</sup>	—
	fto	アンカーボルトの降伏点	215	N/mm <sup>2</sup>	—
	fts	アンカーボルト 1 本あたりに許容合成応力度 =1.4fto-1.6τ	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
G	GL+	グラウンド 0 を基準とした高さ	2~4 ケタ	m	—
	Gf	平成 12 年建設省告示第 1454 号の第 3 項の規定により算出したガス影響係数	2.1	—	—
	G <sub>D</sub>	煙突構造設計指針より算出したガス影響係数	小数第 2 位	—	切上げ
	g <sub>D</sub>	$[2 \times \ln(600 v_D) + 1.2]^{1/2}$	小数第 3 位	—	切上げ
H	H	排気筒の高さ	40	m	—
	H <sub>B</sub>	煙突筒身の全高さ (33.495→33.5)	33.5	m	—
	h	該当部分の地盤面からの高さ	2 ケタ	m	—
	hi	区間高さ	2~4 ケタ	m	—
	ha	各位置から重心までの高さ	2~4 ケタ	m	—
	h <sub>RC</sub>	受風高さ	7.0	m	—
	hr	リブプレート高さ	223	mm	—
	hd	周方向補強板の幅	150	mm	—
I	I	圧縮側最外縁から鉄筋までの距離	小数第 3 位	mm	—
	ID	排気筒筒身内径	小数第 3 位	m	四捨五入
	ID'	平均内径	小数第 3 位	m	切上げ
	IDb	鋼板底部における煙突の外径	2.312	m	—
	IDe	排気筒筒身内径 (腐食代 2mm 考慮)	整数	mm	四捨五入
	I. D <sub>B</sub>	ベースプレートの内径	1931	mm	—
	I <sub>H</sub>	基準高さにおける乱れの強さ = I <sub>rH</sub> ・Eg <sub>I</sub>	小数第 3 位	—	切上げ
	I <sub>rH</sub>	平坦と見なせる状況での基準高さにおける乱れの強さ =0.1×(H/Z <sub>G</sub> ) <sup>-α-0.05</sup>	小数第 3 位	—	切上げ
	I <sub>b</sub>	筒身底部の断面二次モーメント = π/64×(ODb <sup>4</sup> -IDb <sup>4</sup> )	小数第 4 位	m <sup>4</sup>	切上げ
	I <sub>ex</sub>	X-X 軸に関する断面二次モーメント = r <sup>3</sup> ×((π/2-θ <sub>1</sub> -sin2θ <sub>1</sub> /2)×tew+(π/2)×tsw)	4 ケタ	mm <sup>4</sup>	切下げ
	I <sub>gx</sub>	中立軸 X' に関する断面二次モーメント = I <sub>ex</sub> -Ae×Xg <sup>2</sup>	4 ケタ	mm <sup>4</sup>	切下げ

表1 評価における記号及び端数処理について (5/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
J	—	—	—	—	—
K	$K_D$	風向係数：水戸市を使用	1.0	—	—
	$K_R$	リブプレートにかかる座屈応力度の補正係数 $= 0.42 + (br/hr)^2$	小数第2位	—	切上げ
	k	水平 震度			
		鋼板部	1.0	—	—
		RC部	0.3	—	—
		排気ダクト	小数第3位	—	切上げ
	$k_D$	共振風速時の風方向荷重を求めるための換算係数	小数第2位	—	—
	$k_Z$	分布係数	小数第3位	—	切上げ
	$k_{rw}$	再現期間換算係数 $= 0.63(\lambda_U - 1) \ln \gamma - 2.9\lambda_U + 3.9$	1.01	—	切上げ
L	$L_{aD38}$	縦筋(D38)の有効付着長さ	1380	mm	—
	$L_{aD25}$	既設配筋(D25)の有効付着長さ	1405	mm	—
	$L_{a2D25}$	定着金物付鉄筋(D25)の有効付着長さ	1400	mm	—
	$L_b$	アンカーボルト有効長さ	1800	mm	—
	$L_{ft}$	アンカーボルトの短期許容引張応力度	215	N/mm <sup>2</sup>	—
	$L_{fs}$	アンカーボルトの短期許容せん断応力度	161	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	$L_g$	重心からの距離 コンクリート： $L_g = D_{RC}/2 - X_0/3$ 鉄筋： $L_g = D_{RC}/2 - l$	小数第3位	mm	切上げ
	$L_H$	H=40 mの基準高さにおける乱れの強さ 乱れのスケール= $100 \times (H/30)^{0.5}$ (30 < H ≤ ZG)	小数第1位	—	切上げ
	$L_r$	支点距離(ボルト間の距離) 支点距離(リブプレート間の距離) $= (\pi \times D_A) / (n_A/2)$	小数第1位	mm	切上げ
M	M	設計曲げモーメント	4ケタ	kN・m	切上げ
	$M_1$	検討断面にかかる曲げモーメント(積算曲げモーメント)	整数 4ケタ	kN・m	—
	$M_2$	曲げモーメント	整数 4ケタ	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_A$	曲げモーメント(組合せ) $= [(k_D \times \Sigma M_D)^2 + \Sigma M_r^2]^{1/2}$	整数	kN・m	切上げ
	$M_P$	曲げモーメント(地震)	整数 4ケタ	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_P$	積算曲げモーメント(地震) = $M_P + \Sigma M_{P(i-1)}$	整数 4ケタ	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_{P(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma M_P$	—	—	—
	$M_a$	煙突地上部分の全質量	4ケタ	kg	切上げ
	$M_D$	曲げモーメント(風方向) $= Q_D \times h_a + \Sigma Q_{D(i-1)} \times h_i$	整数	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_D$	積算曲げモーメント(風方向) $= M_D + \Sigma M_{D(i-1)}$	整数 4ケタまで	kN・m	切上げ

表1 評価における記号及び端数処理について (6/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	$\Sigma M_{D(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma M_D$ の値	—	—	—
	$M_p$	風方向振動の一般化質量	4ケタ	kg	切上げ
	$M_r$	曲げモーメント(風直交) = $Q_r \times h_a + \Sigma Q_{r(i-1)} \times h_i$	4ケタ	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_r$	積算曲げモーメント(風直交) = $M_r + \Sigma M_{r(i-1)}$	整数 4ケタまで	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_{r(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma M_r$ の値	—	—	—
	$M_w$	曲げモーメント(風荷重) $Q_w \times h_a + \Sigma Q_{w(i-1)} \times h_i$	整数	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_w$	積算曲げモーメント(風荷重) = $M_w + \Sigma M_{w(i-1)}$	整数 4ケタまで	kN・m	切上げ
	$\Sigma M_{w(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma M_w$ の値	—	—	—
	$M_{Amax}$	アンカープレートにかかる単位長さ当たりの最大曲げモーメント = $(\sigma_{AC} \times b_A^2)/8$	4ケタ	Nmm/mm	切上げ
	$M_{Bmax}$	ベースプレートにかかる最大曲げモーメント = $\sigma_{BC} \times (Bb/2) \times Lr^2/12$ (片側当たり)	小数第1位	Nmm	切上げ
	$M_{Fmax}$	フランジプレートにかかる最大曲げモーメント = $Ta \times Lr/8$	4ケタ	Nmm	切上げ
	$M_{Smax}$	周方向補強板にかかる最大曲げモーメント = $\sigma_{AC} \times (b_A/2) \times Lr^2/12$	4ケタ	Nmm/mm	切上げ
	$M_{fn}$	定着板にかかる曲げモーメント = $\sigma_{tfn} \times (D_{fn}/2)^2/2$	4ケタ	N・mm	切上げ
N	N	設計軸力	小数第1位	kN	切上げ
	N1	検討断面にかかる軸力(積算重量)	4ケタ	kN	—
	N2	軸力(圧縮力及び引張力)	4ケタ 小数第1位	kN	切上げ
	N3	1本当たりの引張力 検討する引張力	小数第1位	kN	切上げ
	N3a	GL+4.705 m 断面における鉄筋1本当たりの引張力	小数第1位	kN	切上げ
	N3b	GL-3.2 m 断面における鉄筋1本当たりの引張力	小数第1位	kN	切上げ
	N3c	GL-6.2 m 断面における定着金物付鉄筋1本当たりの引張力	小数第1位	kN	切上げ
	$N_r$	リブプレートにかかる圧縮力 = $\sigma_{BC} \times (Bb/2) \times Lr$	4ケタ	N	切上げ
	n	耐震Bクラスの係数	1.5	—	—
	$n_A$	アンカーボルトの本数	64	本	—
	$n_{1CA}$	シアコネクタ(D16)下部の本数	9	本	—
	$n_{2CA}$	シアコネクタ(D16)上部の本数	10	本	—
	$n_{fn}$	検討場所における定着板付鉄筋の本数	54	本	—
	$n_{N3b}$	定着金物付鉄筋(D25)の本数	2	本	—
	$n_{sc}$	ヤング係数比(RC規準)	15	—	—
	$n_X$	鉄筋の本数	整数	本	—

表1 評価における記号及び端数処理について (7/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
0	OD	排気筒筒身外径	小数第3位	m	—
	OD'	平均外径	小数第3位	m	切上げ
	ODb	鋼板底部における煙突の外径	2.350	m	—
	0. D <sub>B</sub>	ベースプレートの外径	2731	mm	—
	OD/te	径厚比	小数第1位	—	切上げ
P	P	水平地震力 = $k \times W_i$	小数第1位 4ケタまで	kN	切上げ
	P <sub>a</sub>	定着板付鉄筋の短期許容引張力 P <sub>a1</sub> P <sub>a2</sub> の最小値	小数第1位	kN	—
	P <sub>a1</sub>	定着金物付鉄筋(D25)の耐力で決まる1本当たりの許容引張耐力 = $\phi 1 \times f_t \times A_{OD25}$	小数第1位	kN	切下げ
	P <sub>a2</sub>	コーン状破壊により決まる1本当たりの許容引張耐力 = $\phi 2 \times \sigma_t \times A_{cfn} / n_{fn}$	小数第1位	kN	切下げ
	P <sub>w</sub>	風荷重(合計) = $P_{w1} + P_{w2}$	小数第1位	kN	切上げ
	P <sub>w1</sub>	風荷重(筒身) = $C_D \cdot q_z \cdot A_F$	小数第1位	kN	切上げ
	P <sub>w2</sub>	風荷重(タラップ・踊場) = $C_D \cdot q_z \cdot A_F$	小数第1位	kN	切上げ
	P <sub>w3</sub>	風荷重(RC部) = $C_D \cdot q_z \cdot A_F$	小数第1位	kN	切上げ
Q	Q	設計せん断力	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_A$	せん断力(組合せ) = $[(k_D \times \Sigma Q_D)^2 + \Sigma Q_R^2]^{1/2}$	小数第1位	kN	切上げ
	Q <sub>p</sub>	せん断力(地震) = P	小数第1位 4ケタまで	kN	切上げ
	$\Sigma Q_p$	積算せん断力(地震) = $Q_p + \Sigma Q_{p(i-1)}$	小数第1位 4ケタまで	kN	切上げ
	$\Sigma Q_{p(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma Q_p$ の値	—	—	—
	Q <sub>D</sub>	せん断力(風方向) = $W_D$	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_D$	積算せん断力(風方向) = $Q_D + \Sigma Q_{D(i-1)}$	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_{D(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma Q_D$ の値	—	—	—
	Q <sub>r</sub>	せん断力 = $W_r$	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_r$	積算せん断力(風直交方向荷重) = $Q_r + \Sigma Q_{r(i-1)}$	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_{r(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma Q_r$	—	—	—
	Q <sub>ex</sub>	X-X軸に関する断面一次モーメント = $2 \times r^2 \times (tew \times (\sin \theta_1 - 1) + tsw)$	4ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ
	Q <sub>w</sub>	せん断力(風荷重) = $P_w$	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_w$	積算せん断力(風荷重) = $Q_w + \Sigma Q_{w(i-1)}$	小数第1位	kN	切上げ
	$\Sigma Q_{w(i-1)}$	求める高さの一つ上の高さの $\Sigma Q_w$ の値	—	—	—
	q <sub>a</sub>	シアコネクタ(D16)の短期許容せん断耐力 $\min[q_{a1}, q_{a2}, 294A_{OD16}]$	小数第1位	kN	—
	q <sub>a1</sub>	鋼材の耐力で決まる1本当たりのせん断耐力 $0.7 \times F_{D16} \times A_{OD16}$	小数第1位	kN	切下げ
	q <sub>a2</sub>	コンクリートの支圧面積で決まる1本当たりのせん断耐力 $0.4 \times [E_c \times F_c 20.59]^{1/2} \times A_{OD16}$	小数第1位	kN	切下げ

表1 評価における記号及び端数処理について (8/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	294A <sub>OD16</sub>	鋼材の断面積で決まる 1 本当たりのせん断耐力	小数第 1 位	kN	切下げ
	qz	(建築) = $0.6 \times E_m \times V_0^2$ (煙突) = $1/2 \cdot \rho_a \cdot U_z^2$	4 ケタ 整数	N/m <sup>2</sup>	切上げ
R	R <sub>ta</sub>	主筋の引張耐力 = $f_t \times A_{OD38}$	小数第 1 位	kN	切下げ
	R <sub>D</sub>	= $(\pi / (4 \zeta D)) \times S_D \times F_f / B_D$	小数第 3 位	—	切上げ
	R <sub>w</sub>	溶接部のスカラップの半径	20	mm	—
	r	筒身の半径 (筒身円中心から、鋼板中心までの距離)	整数	mm	切下げ
	r/200	最小鋼板板厚 = $r/200$	小数第 1 位	mm	切上げ
S	S <sub>D</sub>	= $(1 - 3/4 \times \lambda_B)^2 \times 1 / ((1 + 3.5 \times f_L \times B / U_H) \times (1 + 2 \times f_L \times H / U_H))$	小数第 3 位	—	切上げ
	S <sub>w</sub>	溶接部の脚長	12	mm	—
	sfa <sub>FC21</sub>	コンクリート付着耐力(新設躯体)	2.10	N/mm <sup>2</sup>	—
	0.8sfa <sub>FC21</sub>	コンクリートの短期許容付着応力度(新設躯体) = $0.8 \times sfa_{FC21}$	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfa <sub>FC20.59</sub>	コンクリート付着耐力(既設躯体)	2.05	N/mm <sup>2</sup>	—
	0.8sfa <sub>FC20.59</sub>	コンクリートの短期許容付着応力度(既設躯体) = $0.8 \times sfa_{FC20.59}$	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfb <sub>1</sub>	鋼材(SS400)の短期許容曲げ応力度(煙突構造設計指針より) ( $t \leq 40$ ) = $fb_1 / 1.3 \times 1.5$	271	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfb <sub>2</sub>	鋼材(TMCP325C)の短期許容曲げ応力度(煙突構造設計指針より) ( $40 < t \leq 100$ ) = $fb_2 / 1.3 \times 1.5$	375	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfc <sub>FC21</sub>	コンクリートの短期許容圧縮応力度(新設)	14.0	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfc <sub>FC20.59</sub>	コンクリートの短期許容圧縮応力度(既設)	13.7	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfc <sub>SFC21</sub>	コンクリートの短期許容せん断応力度(新設)	1.05	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfc <sub>SFC20.59</sub>	コンクリートの短期許容せん断応力度(既設)	1.02	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
	sfs	鋼材の短期許容せん断応力度	135	N/mm <sup>2</sup>	—
T	T	一次固有周期 = $0.057 \times [(Ma/1000) \times H_B^3 / (Es \times Ib)]^{1/2}$	小数第 3 位	s	切上げ
	Ta	アンカーボルト 1 本当たりの引張力 = $((-N / (\pi Db \times tbg)) + (4M / (\pi Db^2 \times tbg))) \times ((\pi Db \times tbg) / n_A)$	4 ケタ	N	切上げ
	t <sub>fn</sub>	定着板の板厚	22	mm	—
	t <sub>i</sub>	排気筒筒身の板厚 (腐食代は考慮しない)	整数	mm	—
	t <sub>bg</sub>	鋼板部の板厚 (GL+6.505)	19	mm	—
	t <sub>e</sub>	有効板厚 (腐食代(2 mm)を考慮)	整数	mm	—
	t <sub>ew</sub>	板厚 (腐食代 2 mm 考慮)	37、45	mm	—
	t <sub>sw</sub>	板厚 (腐食代 2 mm 考慮)	17	mm	—
	t <sub>b</sub>	ベースプレートの厚さ	32	mm	—

表1 評価における記号及び端数処理について (9/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	tf	フランジプレートの厚さ	45	mm	—
	tr	リブプレートの厚さ	12	mm	—
	t <sub>1</sub>	アンカープレートの板厚	60	mm	—
	t <sub>2</sub>	周方向補強板の板厚	22	mm	—
	Td <sub>N3b</sub>	定着金物付鉄筋 (D25) 1 本あたりにかかる引張力= N3b/1N3b	4 ケタ	N	切上げ
U	U <sub>Z</sub>	設計風速=V <sub>0</sub> ・K <sub>D</sub> ・E <sub>Z</sub> ・krw	小数第 2 位	m/s	切上げ
	U <sub>500</sub>	地上 10 m における 10 分間平均風速の再現期間 500 年に対する値 (U <sub>500</sub> = 36×1.5) : 茨城県大洗町	54.0	m/s	—
	U <sub>H</sub>	H=40 m の設計風速=U <sub>0</sub> ・K <sub>D</sub> ・E <sub>H</sub> ・krw	小数第 1 位	m/s	—
	U <sub>r</sub>	共振風速 =5f <sub>L</sub> ・D <sub>2H/3</sub>	小数第 1 位	m/s	切上げ
	U <sub>2H/3</sub>	煙突の高さ 2H/3 における設計風速 = V <sub>0</sub> ×K <sub>D</sub> ×E <sub>Z<sub>2H/3</sub></sub> ×krw	小数第 2 位	m/s	切上げ
V	V <sub>0</sub>	基準風速	51.0	m/s	—
W	W <sub>a</sub>	排気筒積算重量	小数第 1 位 及び 4 ケタ	kN	切上げ
	W <sub>A</sub>	風荷重 (組み合せ) = [(k <sub>D</sub> ×W <sub>D</sub> ) <sup>2</sup> +W <sub>R</sub> <sup>2</sup> ] <sup>1/2</sup>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>i</sub>	区間重量	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>D</sub>	風方向荷重 =W <sub>D1</sub> + W <sub>D2</sub>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>D1</sub>	風方向荷重 (排気筒筒身) =qz・C <sub>D</sub> ・G <sub>D</sub> ・A <sub>F</sub>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>D2</sub>	風方向荷重 (付属品) =qz・C <sub>D</sub> ・G <sub>D</sub> ・A <sub>F</sub>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>D3</sub>	風方向荷重 (RC 部)	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>r</sub>	風直交方向荷重=W <sub>r1</sub> + W <sub>r2</sub>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>r1</sub>	渦励振による風直交方向荷重 (筒身) =0.8・ρ a・U <sub>r</sub> <sup>2</sup> ・Cr・h/H・A <sub>F</sub>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>r2</sub>	渦励振による風直交方向荷重 (付属品) =0.8・ρ a・U <sub>r</sub> <sup>2</sup> ・Cr・h/H・A <sub>F</sub>	小数第 1 位	kN	切上げ
	W <sub>r3</sub>	渦励振による風直交方向荷重 (RC 部)	0.0	kN	切上げ
X	X	中立軸から鉄筋までの距離 = X <sub>0</sub> -I	小数第 3 位	mm	—
	X <sub>0</sub>	中立軸から最外縁までの距離 = X <sub>D</sub> ×D <sub>RC</sub>	小数第 3 位	mm	切上げ
	X <sub>D</sub>	中立軸比 (ゴールシークの結果に対して切上げ)	小数第 4 位	—	切上げ
	X <sub>g</sub>	中立軸 X' から X-X 軸までの距離 =Q <sub>ex</sub> /A <sub>e</sub>	4 ケタ	mm	切上げ
Y	—	—	—	—	—
Z	Z	地域係数	1.0	—	—
	Z <sub>fn</sub>	定着板の断面係数 = B <sub>fn</sub> ×t <sub>fn</sub> <sup>2</sup> /6	小数第 1 位	mm <sup>3</sup>	切下げ
	Z <sub>B</sub>	ベースプレートの断面係数 = π /32× (0. D <sub>B</sub> <sup>4</sup> -I. D <sub>B</sub> <sup>4</sup> )/0. D <sub>B</sub>	4 ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ



表 1 評価における記号及び端数処理について (10/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
	Zb	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ (建築基準法)	5	m	—
	Zba	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ (建築学会)	10	m	—
	Ze	排気筒筒身断面係数(腐食代を考慮) = $\pi/32 \times (OD^4 - ID_e^4)/OD$	4 ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ
	Z <sub>G</sub>	風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ	450	m	—
	Zgxa	a 点の断面係数 = $I_{gx}/(r - X_g)$	4 ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ
	Zgxb	b 点の断面係数 = $I_{gx}/(r \times \cos \theta_1 + X_g)$	4 ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ
	Zgxc	c 点の断面係数 = $I_{gx}/(r - X_g)$	4 ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ
	Zgxd	d 点の断面係数 = $I_{gx}/(r \times \cos \theta_1 + X_g)$	4 ケタ	mm <sup>3</sup>	切下げ
$\alpha$	$\alpha$	風速の鉛直分布のべき指数	0.2	—	—
	$\alpha b$	b 点にかかる応力集中係数 = $(2 + (1 - b/Bd)^3) \times (1 + (2/3) \times (1 - (b/Bd)^{1.6}) \times [b/\rho]^{1/2} - 1)) \times (0.6 + 0.4 \times \text{EXP}(-1.5 \times (a/\rho - 1) \times [\rho/b]^{1/2}))$	4 ケタ 小数第 3 位	—	切上げ
	$\alpha d$	d 点にかかる応力集中係数 = $(2 + (1 - b/Bd)^3) \times (1 + (2/3) \times (1 - (b/Bd)^{1.6}) \times [b/\rho]^{1/2} - 1)) \times (0.6 + 0.4 \times \text{EXP}(-1.5 \times (a/\rho - 1) \times [\rho/b]^{1/2}))$	4 ケタ	—	切上げ
$\beta$	$\beta$	振動モード形状を $\mu = (Z/H)^\beta$ の関数で示した時のべき指数	2.0	—	—
$\gamma$	$\gamma$	設計用再現期間	100	年	—
	$\gamma_1$	排気筒材の密度	77.0	kN/m <sup>3</sup>	—
	$\gamma_3$	鉄筋コンクリートの密度	24.0	kN/m <sup>3</sup>	—
	$\gamma_{Ec}$	コンクリートの気乾単位体積重量(RC 規準)	23	kN/m <sup>3</sup>	—
$\rho$	$\rho$	開口部隅角部の曲率半径	150	mm	—
	$\rho a$	空気密度	1.22	kg/m <sup>3</sup>	—
$\nu$	$\nu$	ポアソン比	0.3	—	—
	$\nu_D$	$f_L \times [R_D/(1+R_D)]^{1/2}$	小数第 3 位	—	切上げ
$\lambda$	$\lambda$	$1 - 0.4 \times \ln \cdot \beta$	小数第 3 位	—	切上げ
	$\lambda_B$	$1 - B_H/B_0$	小数第 3 位	—	切上げ
	$\lambda_U$	= $U_{500}/V_0$	小数第 2 位	—	切上げ
$\sigma$	$\sigma_0$	最外縁にかかる応力度	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\sigma_M$	曲げ応力度=M/Ze	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\sigma_{Mc}$	合成応力度 = $\sigma_N + \sigma_M$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\sigma_{M_{fn}}$	定着板にかかる曲げ応力度 = $M_{fn}/Z_{fn}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\sigma_N$	圧縮応力度=N/Ae	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ

表 1 評価における記号及び端数処理について (11/12)

記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
$\sigma_{Ab}$	アンカープレートにかかる曲げ応力度 = $M_{Amax}/(t_1^2/6)$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{AC}$	アンカープレートにかかる圧縮応力度 = $2Ta/(b_A \pi D_A/(n_A/2))$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{Bb}$	ベースプレートにかかる曲げ応力度 = $M_{Bmax}/(tb^2 \times (Bb/2)/6)$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{BC}$	ベースプレートにかかる組合せ応力度 = $N/A_B + M/Z_B$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{CC}$	コンクリート圧縮応力度	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	—
$\sigma_{fb}$	フランジプレートにかかる曲げ応力度 = $M_{fmax}/(t_f^2(Bf-df)/6)$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{rk}$	リブプレートにかかる許容座屈応力度 = $(K_R/\mu r)(\pi^2 \times Es/(12(1-\nu^2))) \times (tr/br)^2$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
$\sigma_{RC}$	リブプレートにかかる圧縮応力度 = $Nr/(br \times tr)$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{rb}$	周方向補強板にかかる曲げ応力度 = $M_{Smax}/((t_2 \times hd^2)/6)$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_t$	アンカーボルト 1 本当たりにかかる引張応力度 = $Ta/A_o$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{tfn}$	許容引張時の頭部支圧応力度 = $Pa/A_{ofn}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$c\sigma_t$	コンクリート引張強度 = $0.31 \times [Fc20.59]^{1/2}$	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
$\sigma_{ts}$	鉄筋引張応力度	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_a$	a 点にかかる座屈応力度 = $c\sigma_{exa} + b\sigma_{exa}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$c\sigma_{exa}$	a 点にかかる圧縮応力度 = $N/A_e$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$b\sigma_{exa}$	a 点にかかる曲げ応力度 = $M_p/Z_{gxa}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{b\alpha b}$	b 点にかかる座屈応力度 = $\sigma_b \times \alpha_b$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_b$	b 点にかかる座屈応力度 = $c\sigma_{exb} + b\sigma_{exb}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$c\sigma_{exb}$	b 点にかかる圧縮応力度 = $N/A_e$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$b\sigma_{exb}$	b 点にかかる曲げ応力度 = $M_p/Z_{gxb}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_c$	c 点にかかる座屈応力度 = $c\sigma_{exc} + b\sigma_{exc}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$c\sigma_{exc}$	c 点にかかる圧縮応力度 = $N/A_e$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$b\sigma_{exc}$	c 点にかかる曲げ応力度 = $M_p/Z_{gxc}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_{d\alpha d}$	d 点にかかる座屈応力度 = $\sigma_d \times \alpha_d$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_d$	d 点にかかる座屈応力度 = $c\sigma_{exd} + b\sigma_{exd}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$c\sigma_{exd}$	d 点にかかる圧縮応力度 = $N/A_e$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$b\sigma_{exd}$	d 点にかかる曲げ応力度 = $M_p/Z_{gxd}$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\sigma_X$	鉄筋にかかる応力度 $\sigma_X = n_{sc} \times \sigma_0 \times X/X_0$	小数第 2 位 4 ケタ	N/mm <sup>2</sup>	切上げ

表 1 評価における記号及び端数処理について (12/12)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
$\tau$	$\tau$	アンカーボルト 1 本当たりにかかるせん断応力度 = $Q/(n_A \times A_o)$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\tau_A$	周方向補強板にかかるせん断応力度 = $2 \times T_a / (2 \times t_2 \times h_d) \times 1.5$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\tau_C$	コンクリートの側面にかかるせん断応力度 = $2 \times T_a / A_c$	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\tau_{1CA}$	シアコネクタ (D16) 下部 1 本当たりにかかるせん断力 = $T_a / n_{1CA}$	小数第 1 位	kN	切上げ
	$\tau_{2CA}$	シアコネクタ (D16) 上部 1 本当たりにかかるせん断力 = $N_{3a} / n_{2CA}$	小数第 1 位	kN	切上げ
	$\tau_{cm}$	コンクリートせん断応力度	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	—
	$\tau_w$	溶接部にかかるせん断力 = $N_r / A_w$	小数第 1 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\tau_{D38}$	縦筋 (D38) 1 本当たりにかかる付着応力度	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\tau_{1D25}$	既設配筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度 = $N_{3a} / (\phi_{D25} \times L_{a1D25})$	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
	$\tau_{2D25}$	定着金物付鉄筋 (D25) 1 本当たりにかかる付着応力度 = $T_{dN3b} / (\phi_{D25} \times L_{a2D25})$	小数第 2 位	N/mm <sup>2</sup>	切上げ
$\pi$	$\pi$	円周率	3. 1415 · ·	—	—
$\theta$	$\theta_1$	開口部の角度 20. 9° (点検口) A-A 断面	0. 365	rad	切上げ
		開口部の角度 26. 1° (ダクト) A-A 断面	0. 456	rad	切上げ
		開口部の角度 20. 8° (点検口) B-B 断面	0. 364	rad	切上げ
		開口部の角度 25. 9° (ダクト) B-B 断面	0. 453	rad	切上げ
	$\theta_2$	直角 90°	1. 571	rad	切上げ
$\phi$	$\phi_{D25}$	呼び径 D25 の周長	80	mm	—
	$\phi_{D38}$	呼び径 D38 の周長	120	mm	—
	$\phi_1$	短期荷重の低減係数	1	—	—
	$\phi_2$	短期荷重の低減係数	2/3	—	—
$\mu$	$\mu_r$	座屈安全率	1. 5	—	—
	条件式	風直交方向荷重の検討の有無 $UH / (f_L \times D_{2H/3})$	小数第 2 位	—	切下げ
	—	組み合わせ荷重の換算係数 $k_D$ $10f_L D_{2H/3}$	小数第 1 位	—	切上げ
	—	せん断の検討の有無 $H_B / D$	小数第 2 位	—	切下げ
	—	径厚比 $OD / t_e$	小数第 1 位	—	切上げ
	—	オバリングの検討 $r / 200$	小数第 1 位	—	切上げ

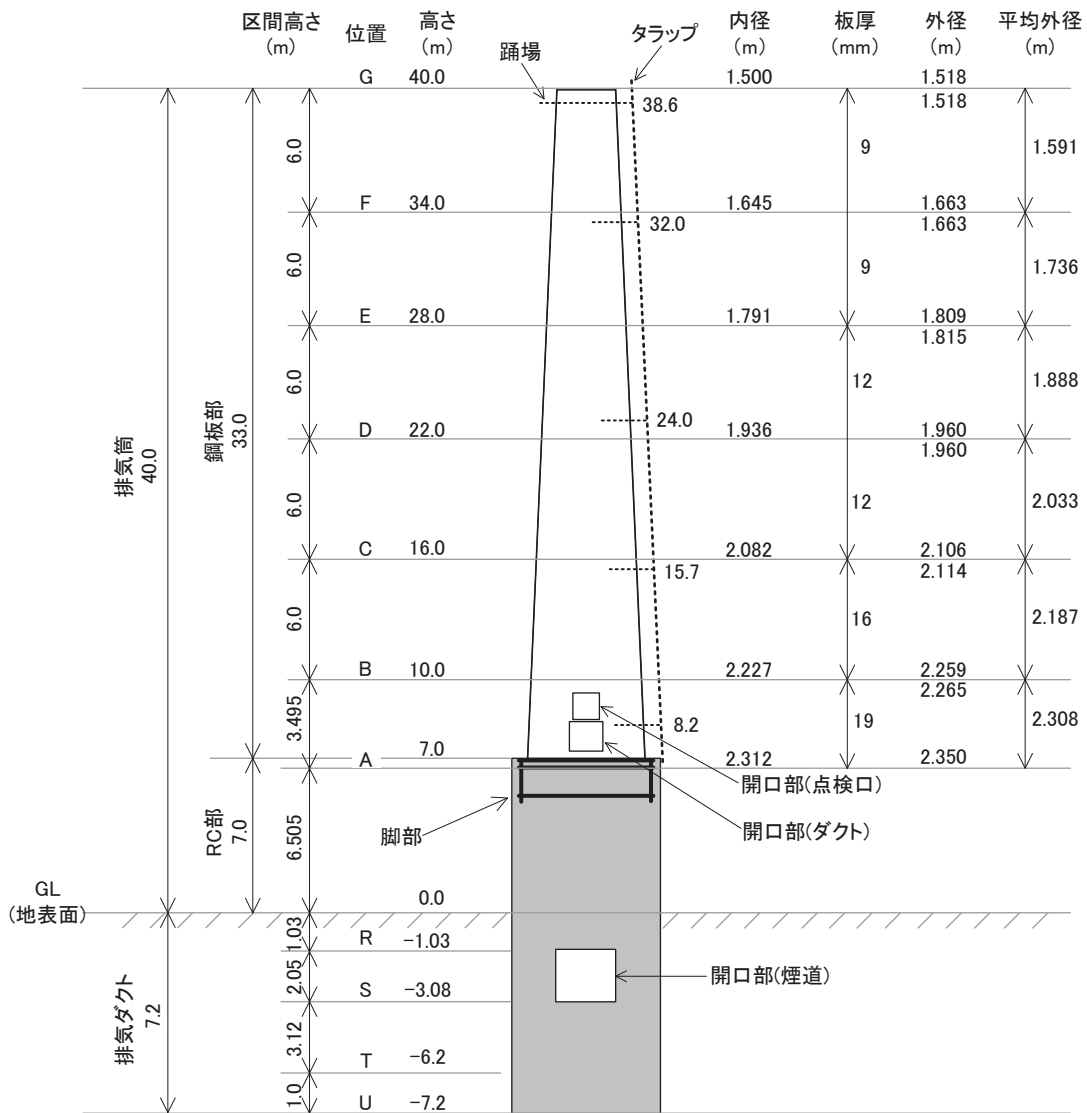
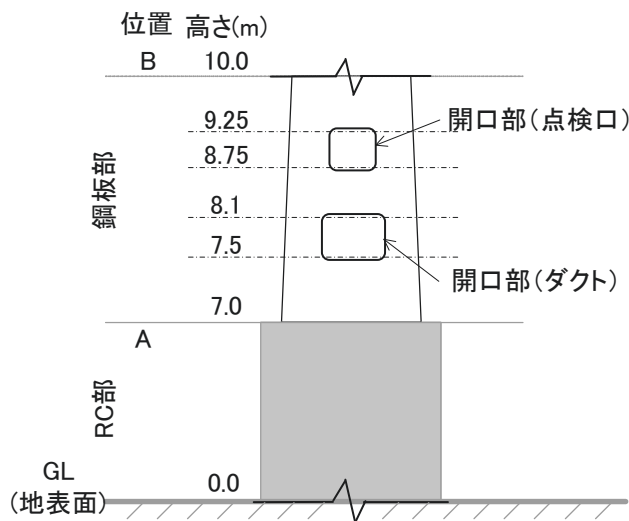
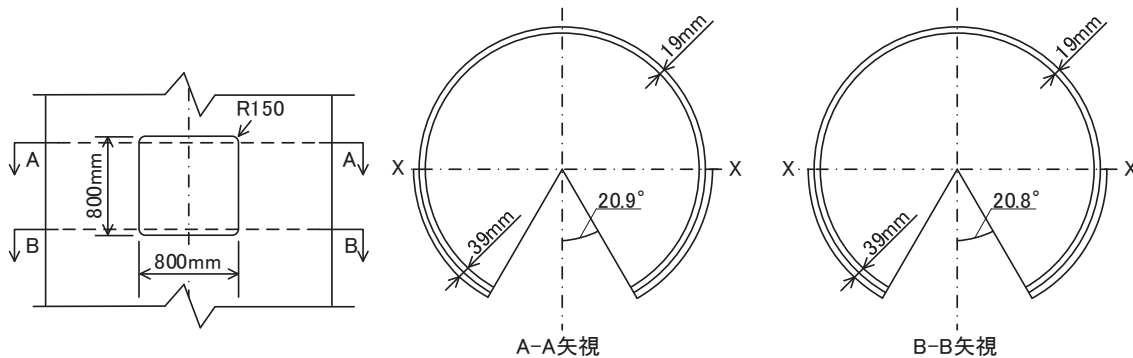


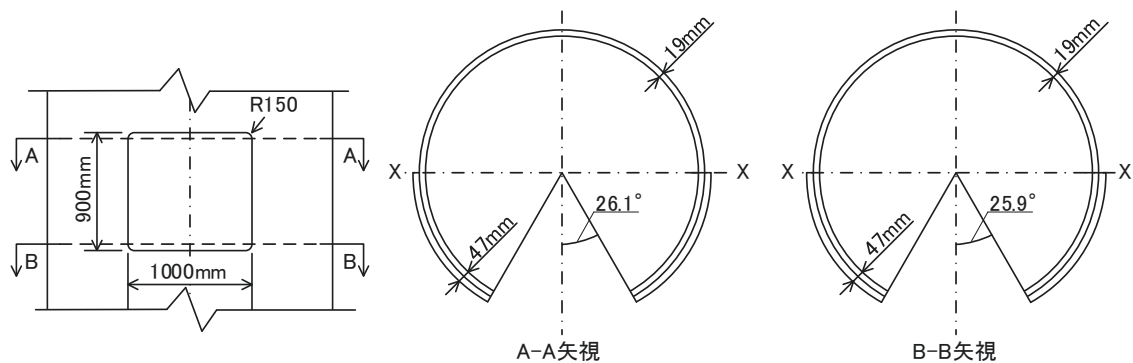
図 2-1 排気筒及び排気ダクトの寸法概略図



排気筒開口部の概略図



開口部(点検口)断面図



開口部(ダクト)断面図

図 2-2 排気筒開口部の概略図

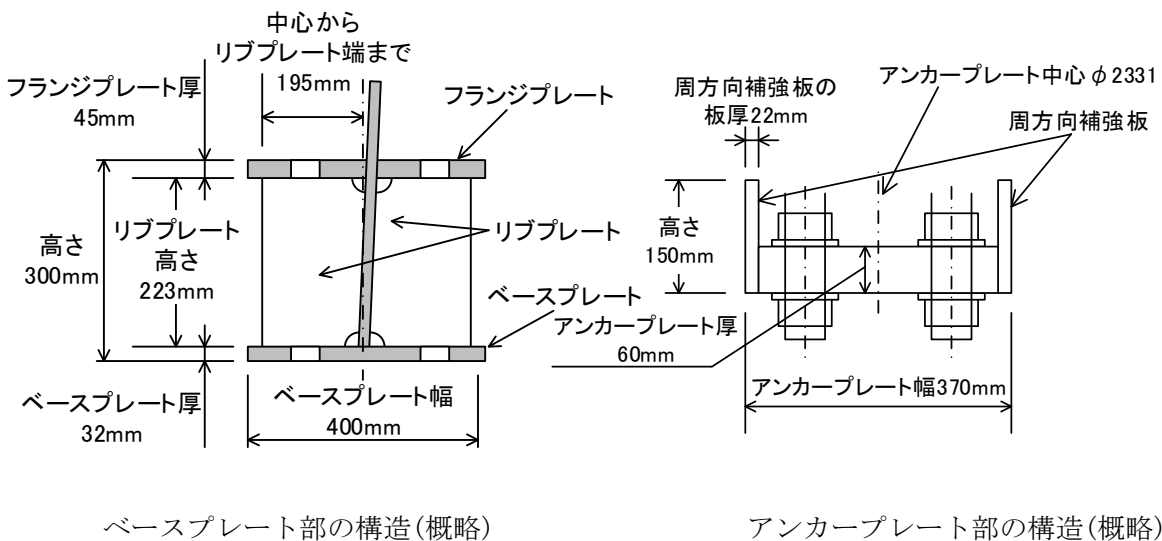
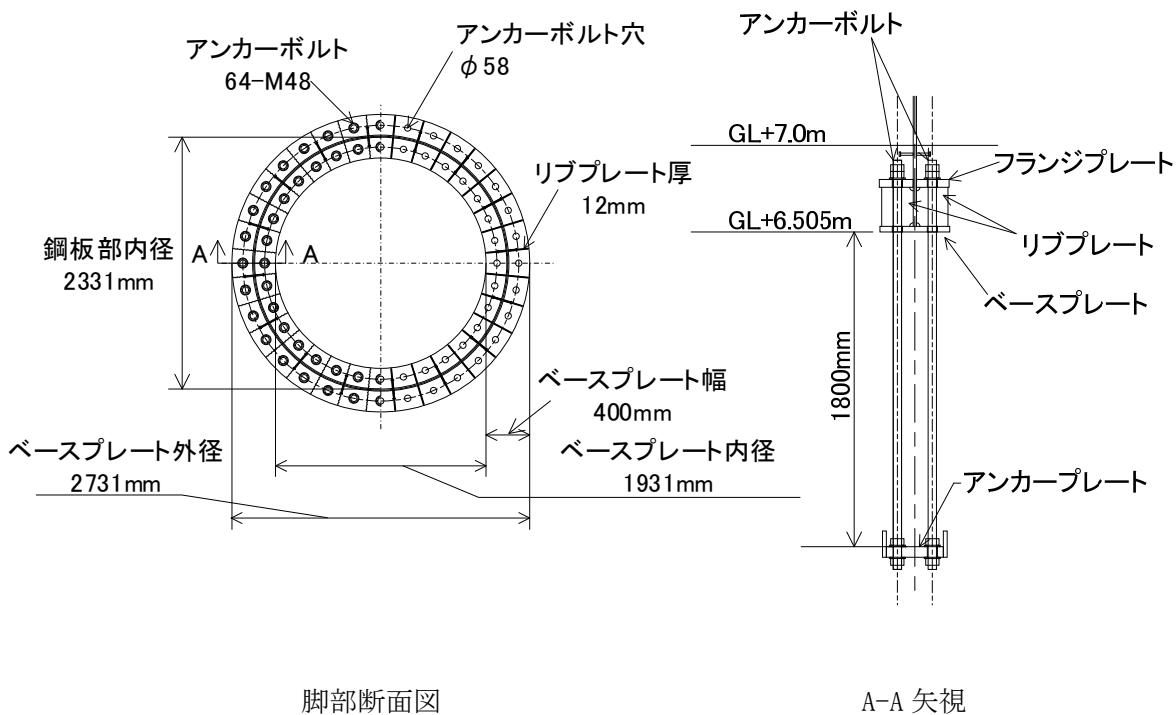
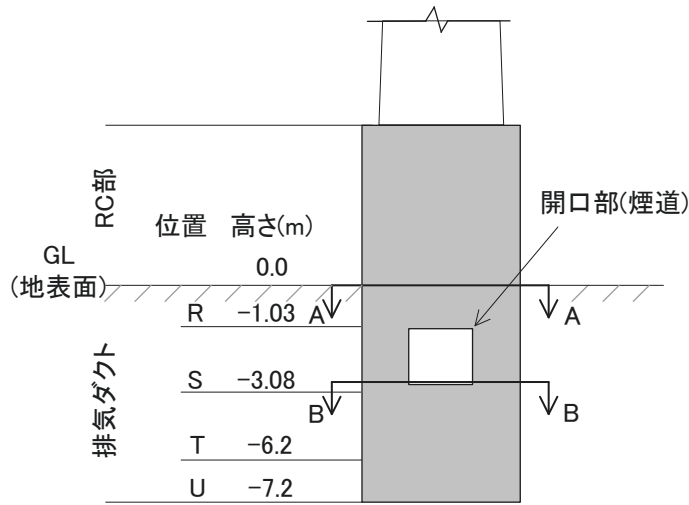


図 2-3 脚部の概略図



RC 部及び排気ダクトの概略図

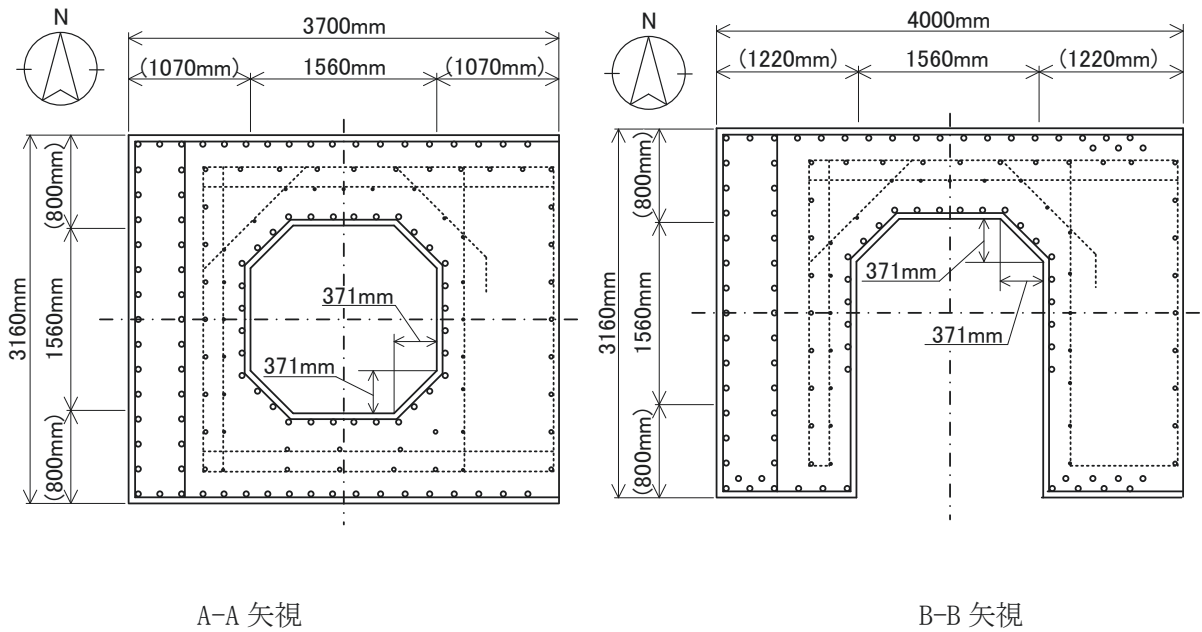
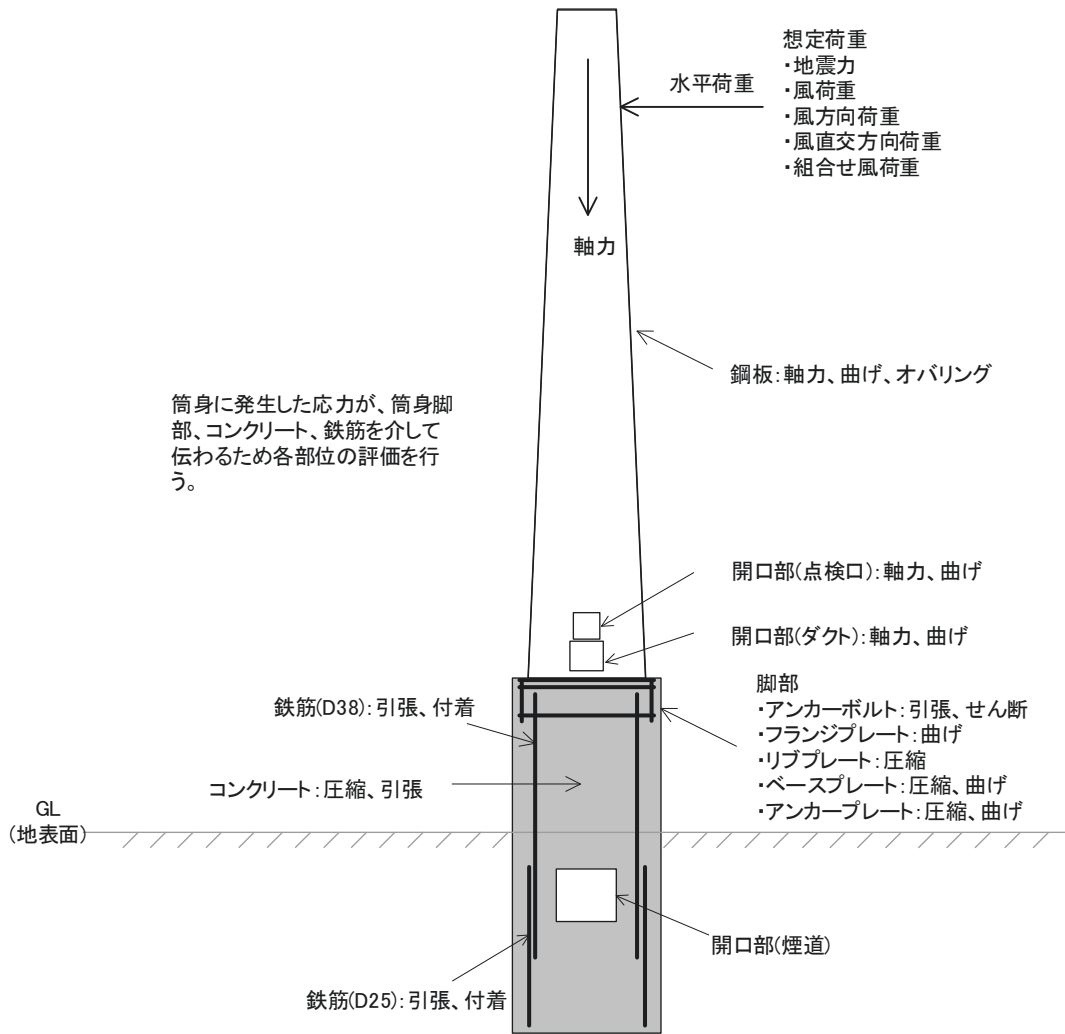


図 2-4 RC 部及び排気ダクトの概略図



筒身に発生した応力が、筒身脚部、コンクリート、鉄筋を介して伝わるため各部位の評価を行う。

図 3-1 発生応力概略図

	位置	高さ(m)	開口部(点検口)		
			内径(m)	板厚(mm)	外径(m)
鋼板部	B	10.0	2.227	16	2.259
					2.265
	点検口上部	9.25	2.245	19	2.283
	点検口下部	8.75	2.257	19	2.295
	ダクト上部	8.1	2.273	19	2.311
	ダクト下部	7.5	2.288	19	2.326
RC部	A	7.0	開口部(ダクト)		
	GL (地表面)	0.0			

図 3. 7-1 開口部の寸法概略図



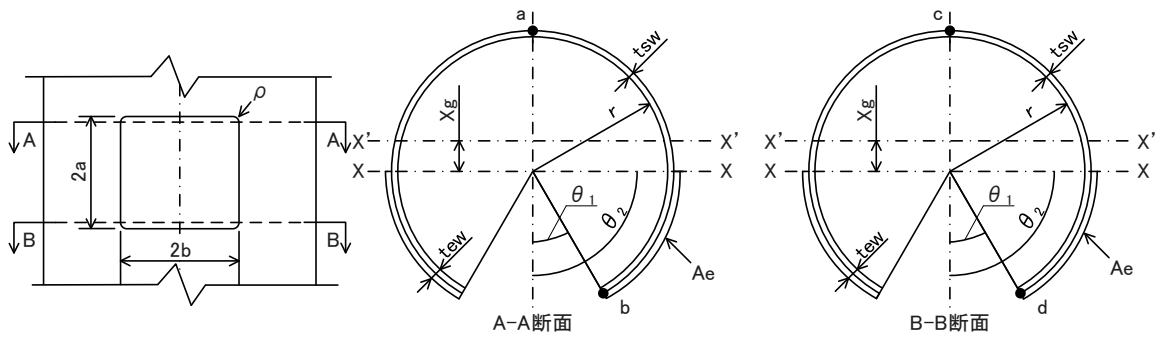
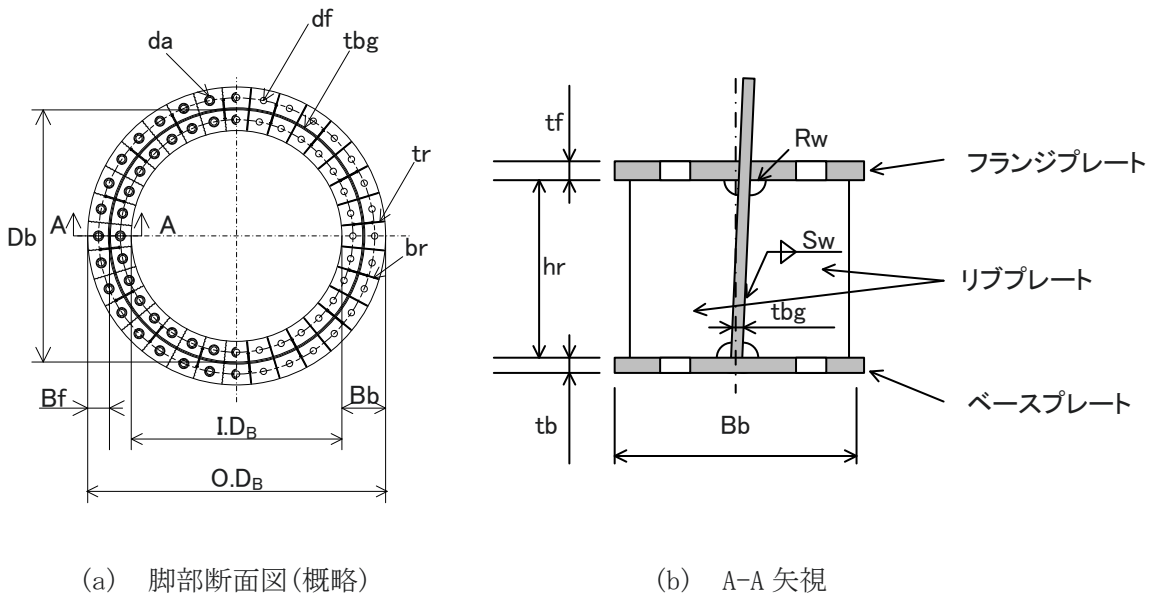


図 3.7-2 開口部のモデル図



(a) 脚部断面図(概略)

(b) A-A 矢視

図 3.8-1 脚部の断面図(概略)

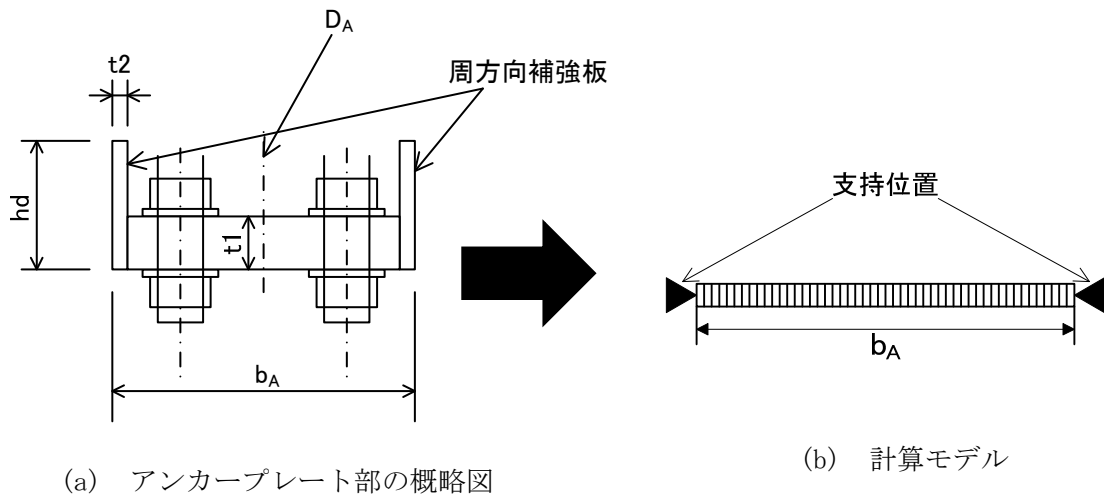


図 3.8-2 アンカープレート部の概略図及び計算モデル

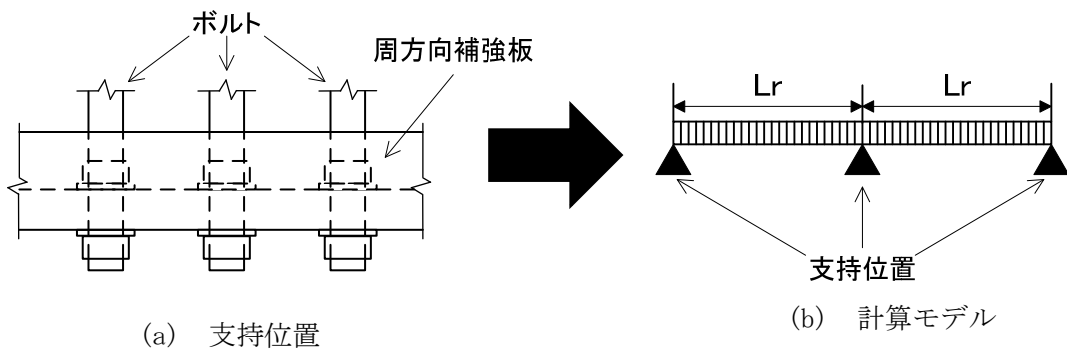


図 3.8-3 周方向補強板の計算モデル

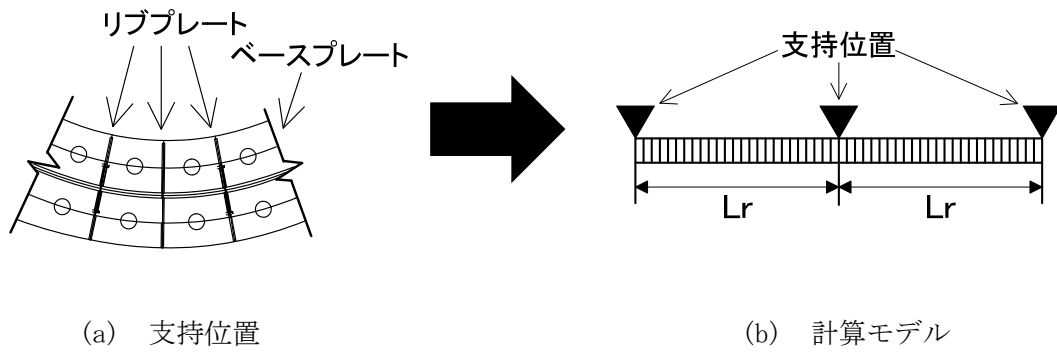


図 3.8-4 ベースプレートの計算モデル

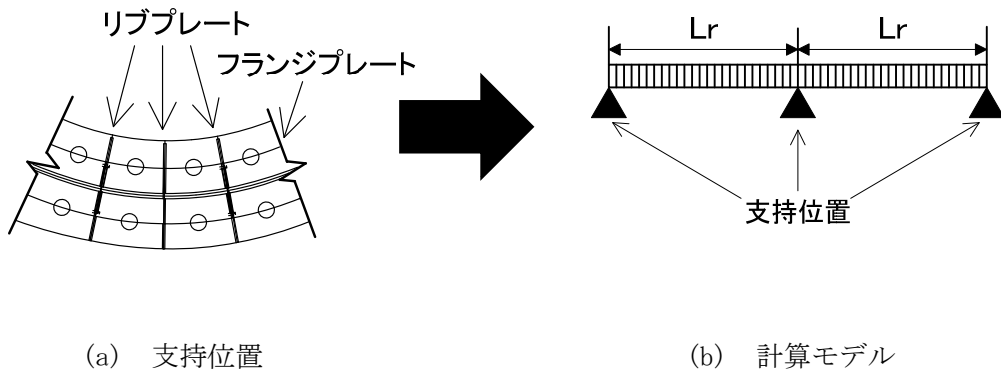


図 3.8-5 フランジプレートの計算モデル

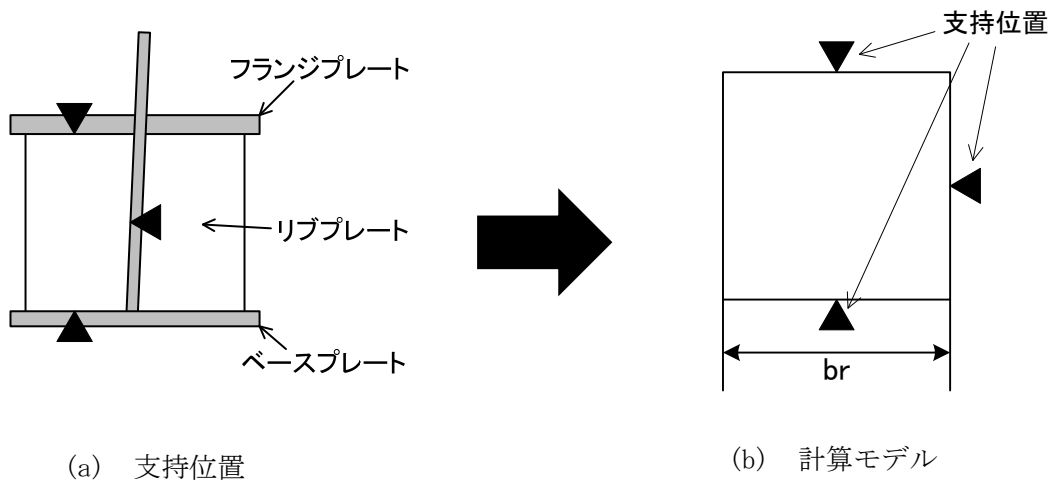


図 3.8-6 リブプレートの計算モデル

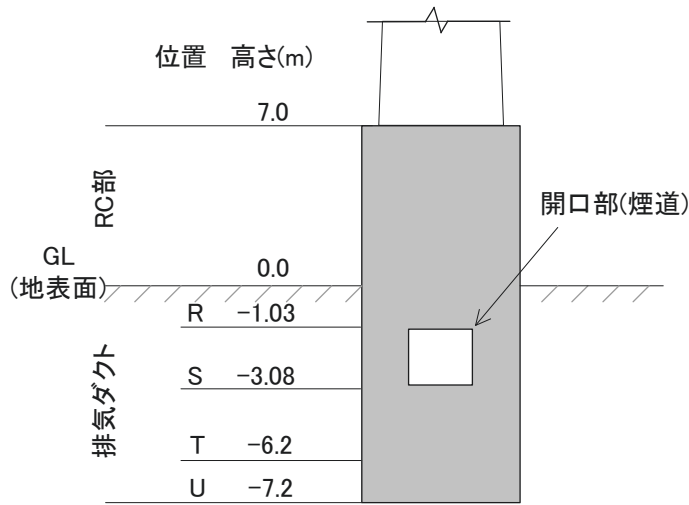
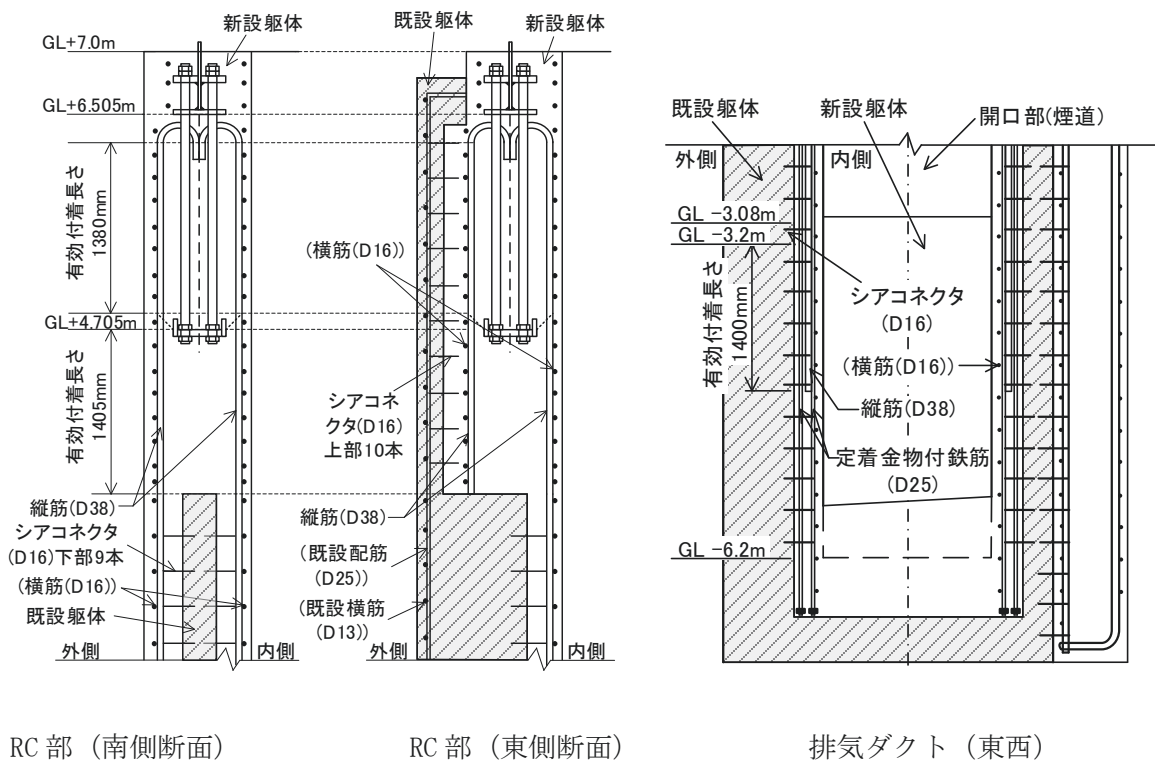


図 3.9-1 RC 部及び排気ダクトの概略図



RC 部 (南側断面)

RC 部 (東側断面)

排気ダクト (東西)

図 3.9-2 付着長さ検討の概略図

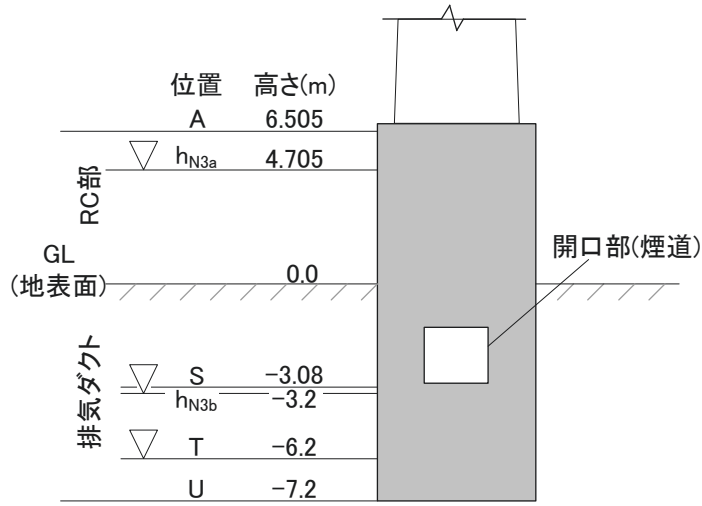
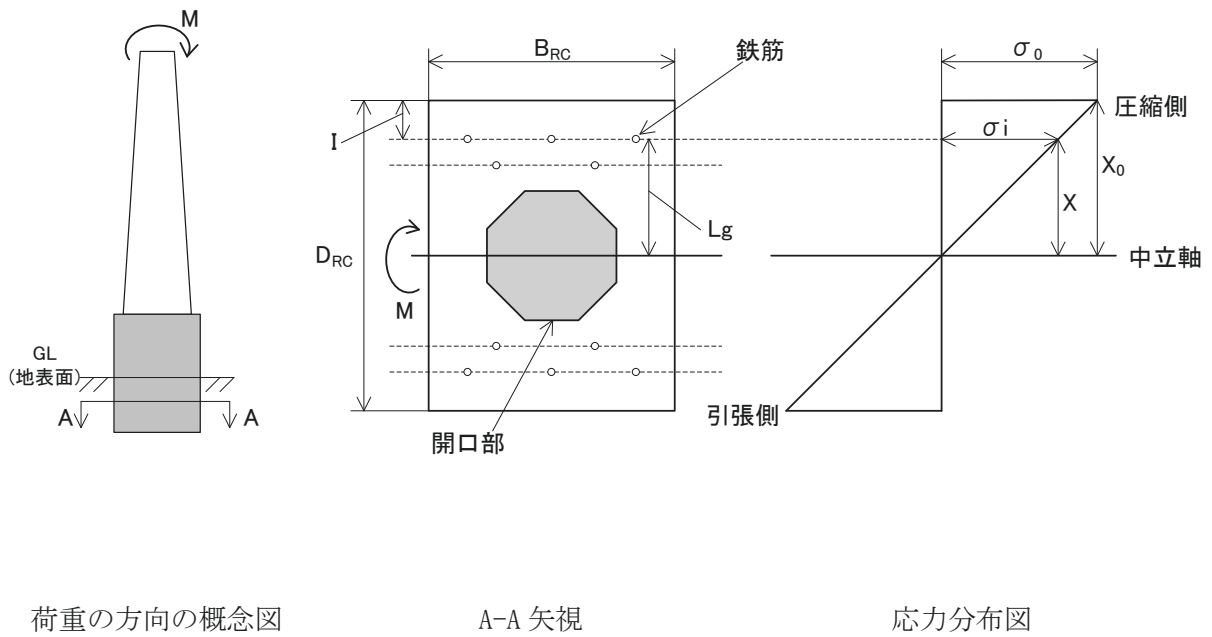


図 3.9-3 引張力の検討位置



荷重の方向の概念図

A-A 矢視

応力分布図

図 3.9-4 鉄筋にかかる荷重の計算モデル

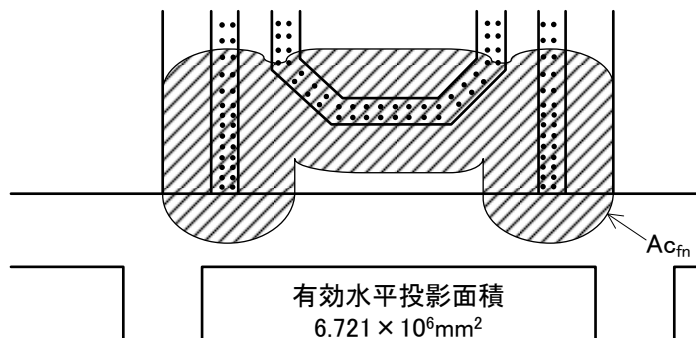


図 3.9-5 定着金物付鉄筋(D25)54本分の有効水平投影面積

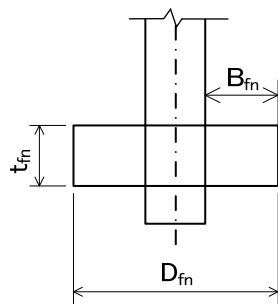


図 3.9-6 定着板の概略図

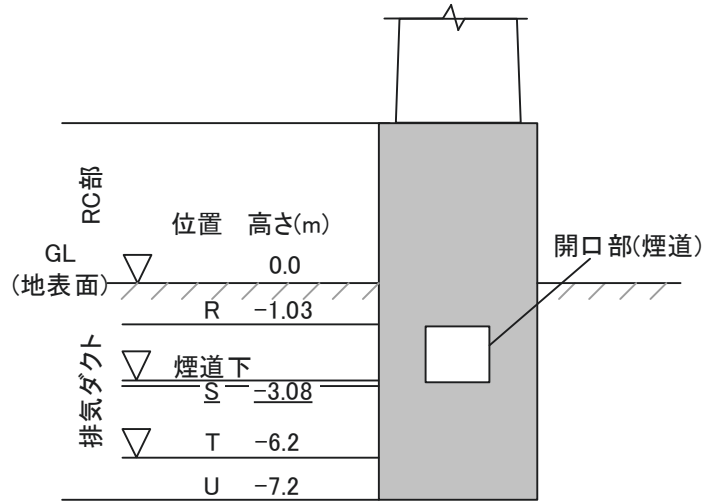


図 3.10-1 断面算定箇所

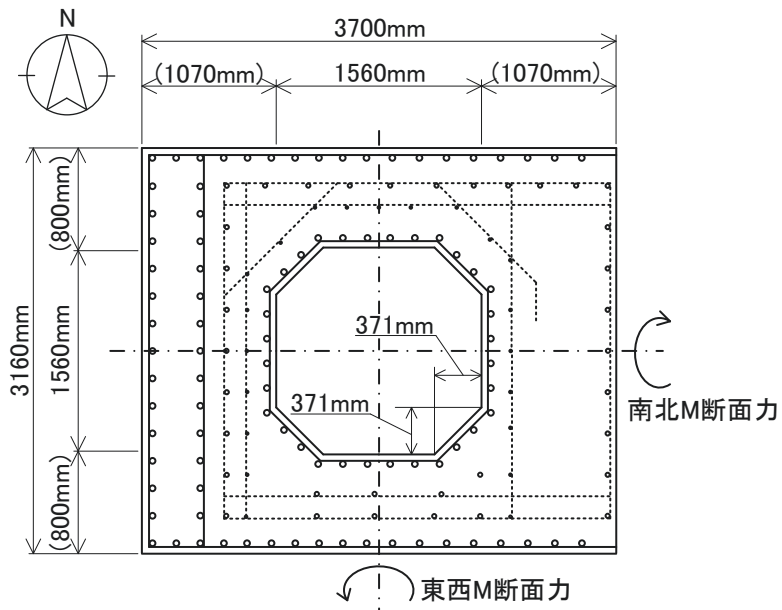


図 3.10-2 検討断面 RC部 (GL+0.0 m)

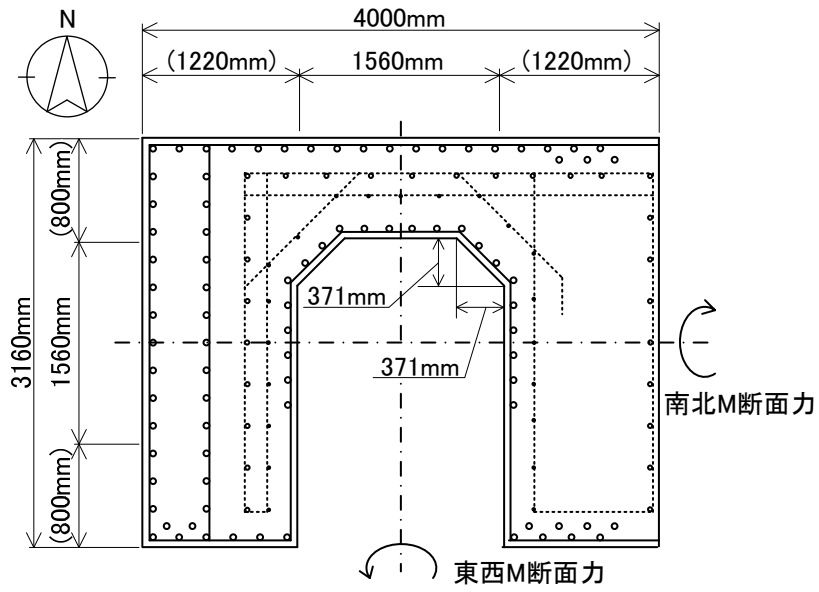


図 3.10-3 検討断面 煙道下

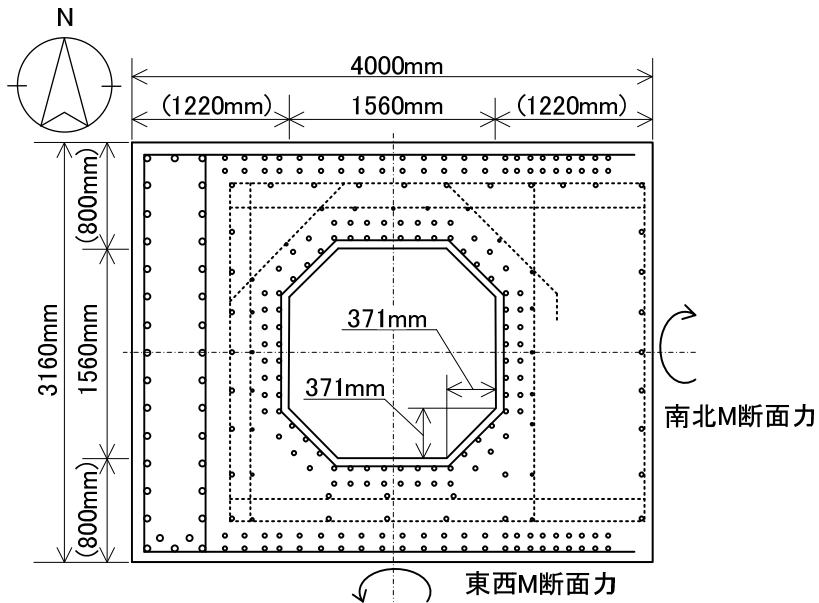


図 3.10-4 検討断面 T(GL-6.2 m)



## 付録 2 基本的な設計以外の既設建家との兼ね合い、力の伝達の考え方

## 1. 排気筒基礎部から既設建家までの力の伝達について

## 1.1 排気筒基礎部から既設建家までの力の伝達についての基本方針

排気筒基礎部から既設建家までの力の伝達は壁、梁及び柱などの鉄筋コンクリートの部材を通り伝達されることを想定している。

地震・風等の設計外力により排気筒に発生する応力が既存架構に伝達・処理できるか確認する。計算は、南北方向、東西方向に発生する応力が、排気筒に接続する柱・梁・壁部材により既存架構(建家)に応力伝達できるか確認する。また、壁に対する面外応力の確認も行う。既存架構等の概略モデルを図 1-1 に示す。評価における記号及び端数処理について表 1 に示す。

## 1.2 東西方向に対する検討

排気筒に生じる曲げ応力を②, ③軸架構の 1F G3 梁、BF FG1 梁で既存架構へそれぞれ伝達できるか確認する。図 1-2、図 1-3 に計算モデルを示す。

## (1) 設計応力

検討に用いる応力は、設計モーメント (M)、設計せん断力 (Q) として、GL-3.340 m における地震力の数値を用いる。

$$M=15580 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Q=1345 \text{ kN}$$

## (2) 柱にかかる応力 (P) の算出

梁に作用し、柱にかかる応力 (P) の算定においては、架構に接続する C1 柱、接続梁等の曲げ耐力の抵抗力を考慮する。

C1 柱の仕様 (柱幅 : B、せい : D、かぶり厚さ : dt、有効せい : d、コンクリートの設計圧縮強度 :  $F_c$ 、鉄筋の総断面積 : at、鉄筋の降伏強度 :  $\sigma_y$ 、応力中心距離 : j) を以下に示す。

$$\text{C1 柱} \quad B=400 \text{ mm、} D=1000 \text{ mm、} dt=70 \text{ mm、} d=930 \text{ mm}$$

$$F_c=20.59 \text{ N/mm}^2、at=4 \times A_{oD25}=2028 \text{ mm}^2、\sigma_y=295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)}$$

$$j=813.7 \text{ mm}$$

2通り側 C1 柱に係る軸力  $N=726.5$  kN(参考資料 1 参照) より、柱の許容曲げモーメント ( $M_a$ ) は、以下となる。

許容応力度  $F_c=M/Z$  より、

$$\begin{aligned} M_{a1} &= Z \times F_c \quad \text{垂直応力度を考慮し、} \\ &= B \times D^2 / 6 \times (F_c - N / (B \times D)) \\ &= 400 \times 1000^2 / 6 \times (20.59 - 726.5 \times 1000 / (400 \times 1000)) / 10^6 \\ &= 1251 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

RC 規準 4 章 部材の算定 13 条より

$$\begin{aligned} M_{a2} &= a_t \times \sigma_y \times j \quad \text{垂直応力度を考慮し、} \\ &= a_t \times (\sigma_y + N / (B \times D)) \times j \\ &= 2028 \times (295 + 726.5 \times 1000 / (400 \times 1000)) \times 813.7 / 10^6 \\ &= 489 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min(M_{a1}, M_{a2}) &= \min(1251, 489) \\ &= 489 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

3通り側 C1 柱に係る軸力 ( $N=950.2$  kN(参考資料 1 参照) より、柱の許容曲げモーメント ( $M_a$ ) は、以下となる。

$$\begin{aligned} M_{a1} &= 400 \times 1000^2 / 6 \times (20.59 - 950.2 \times 1000 / (400 \times 1000)) / 10^6 \\ &= 1214 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{a2} &= 2028 \times (295 + 950.2 \times 1000 / (400 \times 1000)) \times 813.7 / 10^6 \\ &= 490 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min(M_{a1}, M_{a2}) &= \min(1214, 490) \\ &= 490 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

柱にかかる応力  $P$  については、以下となる。

2通り側 (抵抗モーメントは C1 柱のみ考慮)

$$\begin{aligned} P_2 &= (M \times (\text{排気筒芯からの距離} / \text{梁芯と梁芯の距離}) - \text{抵抗モーメント}) / \text{高さ} \\ &= (15580 \times (2000 / 4200) - 489) / 5.72 \\ &= 1212 \text{ kN} \end{aligned}$$

3通り側 (抵抗モーメントは C1 柱のみ考慮)

$$\begin{aligned} P_3 &= (15580 \times (2200 / 4200) - 490) / 5.72 \\ &= 1342 \text{ kN} \end{aligned}$$

(3) 梁断面力の確認

梁及び床の仕様（梁幅：b、せい：D、鉄筋の総断面積：rat、鉄筋の降伏強度： $r\sigma_y$ 、協力幅の数(両側)：n、鉄筋の総断面積(協力幅)：sat、鉄筋の降伏強度(協力幅)： $s\sigma_y$ ）及び梁の断面力  $P_a$  を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{1G3 梁} \quad b &= 500 \text{ mm、} D = 1100 \text{ mm、} \text{rat} = 11 \times A_{oD25} = 5577 \text{ mm}^2 \\ r\sigma_y &= 295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{床仕様} \quad \text{協力幅} &= 1000 \text{ mm、} n = 2 \text{ (両側)} \\ \text{配筋径} &= D13、\text{間隔} = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{sat} = 5 \times A_{oD13} = 635 \text{ mm}^2 \\ s\sigma_y &= 295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)} \end{aligned}$$

1G3 梁の断面力  $P_a$  は以下となる。

$$\begin{aligned} P_a &= \text{rat} \times r\sigma_y + n \times \text{sat} \times s\sigma_y \\ &= 5577 \times 295 / 1000 + 2 \times 635 \times 295 / 1000 \\ &= 2019 \text{ kN} > P_2(1212), P_3(1342) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FG1 梁} \quad b &= 700 \text{ mm、} D = 2000 \text{ mm、} \text{rat} = 6 \times A_{oD25} = 3042 \text{ mm}^2 \\ r\sigma_y &= 295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)} \\ \text{腹筋} : \text{rat} &= 6 \times A_{oD13} = 796 \text{ mm}^2、r\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2 \text{ (SR235)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{床仕様} \quad \text{協力幅} &= 1000 \text{ mm、} n = 2 \text{ (両側)、配筋} : 2 \text{ (上下)} \\ \text{配筋径} &= D13、\text{間隔} = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{BF sat} = 5 \times A_{oD13} = 635 \text{ mm}^2 \\ \text{配筋径} &= D10、\text{間隔} = 200 \text{ mm} \rightarrow \text{F sat} = 5 \times A_{oD10} = 355 \text{ mm}^2 \\ s\sigma_y &= 295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)} \end{aligned}$$

FG1 梁の断面力  $P_a$  は以下となる。

$$\begin{aligned} P_a &= \text{rat} \times r\sigma_y + \text{配筋} \times n \times \text{sat} \times s\sigma_y \\ &= 3042 \times 295 / 1000 + 796 \times 235 / 1000 + 2 \times 2 \times (355 + 635) \times 295 / 1000 \\ &= 2252 \text{ kN} > P_2(1212)、P_3(1342) \end{aligned}$$

以上より、1F、BF 階の梁の断面力は、柱にかかる応力 ( $P_2$ 、 $P_3$ ) より大きいため、排気筒で発生する応力を既存架構に伝達できることを確認した。

## (4) 壁に対する面外応力の確認

東西方向応力による壁面の面外せん断力は、壁(W30)及びはり(G9)に面外方向の応力が生じる以前に剛性の高いスラブにより伝達されるため、排気筒の面外応力に対して、2,3軸の既存架構へ伝達するまでの既存床スラブの伝達能力について確認する。なお、確認は既存スラブの面内せん断力によるものとする。

図1-4に面外応力の検討の計算モデルを示す。

- ・スラブに作用するせん断力

$$Q_s = 15580 / 5.72 = 2724 \text{ kN}$$

$$2 \text{ 通り側 } Q_{s2} : 2724 \times 2 / 4.2 = 1298 \text{ kN}$$

$$3 \text{ 通り側 } Q_{s3} : 2724 \times 2.2 / 4.2 = 1427 \text{ kN}$$

- ・1階スラブの伝達力：コンクリート床の短期許容せん断力を算定

2通りの許容せん断力

$$Q_{a2} = \tau_s \times A = (20.59 / 30 \times 1.5) \times 200 \times 6350 / 10^3 \\ = 1307 \text{ kN} > Q_{s2} (1298)$$

3通りの許容せん断力

→ 3通りへの伝達に対して不足するせん断力をW200壁分に期待する。

$$A' = 200 \times 6350 + 1/2 \times 2000 \times 200 = 1470000 \text{ mm}^2 \\ Q_{a3} = \tau_s \times A' = (20.59 / 30 \times 1.5) \times 1470000 / 10^3 \\ = 1513 \text{ kN} > Q_{s3} (1427)$$

以上より、排気筒から作用する面外応力は支点となるスラブの面内せん断力により、2,3通りの既存架構側で伝達できることから、剛性の小さいG9梁やW30壁に面外方向の応力が生じる以前に剛性の高いスラブにより伝達されることを確認した。

## 1.3 南北方向

排気筒により生じる曲げ応力を接続する F 通り既存耐震壁架構で伝達可能であることを確認する。  
図 1-5、図 1-6 に南北方向計算モデルを示す。

## (1) 既存架構の断面力

耐震壁 W30 の曲げ耐力（耐震壁 W30 の曲げ耐力（北→南）： $wMa'$  左加力、耐震壁 W30 の曲げ耐力（南→北）： $wMa'$  右加力）については以下となる。（許容応力度は別途計算）

$$wMa' \text{ 左加力} = 17710 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$wMa' \text{ 右加力} = 17370 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 境界梁の抵抗曲げ

境界梁の仕様（梁幅： $b$ 、せい： $D$ 、有効せい： $d$ 、応力中心距離： $j$ 、検討距離： $L$ 、鉄筋の降伏強度： $r\sigma_y$ 、鉄筋の降伏強度： $\sigma_{wy}$ 、コンクリートの短期許容せん断応力度： $f_s$ 、鉄筋の総断面積： $at$ 、梁・柱のせん断スパン比による割増係数： $\alpha$ 、梁・柱のせん断補強筋比： $pw$ ）を以下に示す。

## ①G9 梁

$$b = 400 \text{ mm}、D = 1100 \text{ mm}、dt = 70 \text{ mm}、d = 1030 \text{ mm}、j = 901.2 \text{ mm}、L = 1800 \text{ mm}$$

$$F_c = 20.59 \text{ N/mm}^2、r\sigma_y = 295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)}、\sigma_{wy} = 235 \text{ N/mm}^2 \text{ (SR235)}$$

$$f_s = 1.02 \text{ N/mm}^2、at = 3 \times A_{O_{D25}} = 1521 \text{ mm}^2、st. 2-\phi 9 \text{ 間隔 } 300 \text{ mm}$$

$$\alpha = 4 / (M / (Q \times d) + 1) = 4 / (L / (2 \times d) + 1) = 2.134 \rightarrow 2.00、$$

$$pw = 0.001 \text{ (0.2\%無い為耐力に考慮しない。)}$$

$$\text{床仕様 協力幅} = 1000 \text{ mm}、\text{配筋径} = D13、\text{間隔} = 200 \text{ mm} \rightarrow sat = 5 \times A_{O_{D13}} = 635 \text{ mm}^2$$

$$s\sigma_y = 295 \text{ N/mm}^2 \text{ (SD295)}$$

梁の上部鉄筋における許容曲げモーメント ( $gMa_{上}$ )、梁の下部鉄筋における許容曲げモーメント ( $gMa_{下}$ )、短期許容せん断力 ( $Qma$ 、 $Qsa$ 、 $gQa$ ) は以下となる。

$$\begin{aligned} gMa_{上} &= (a_t \times r_{\sigma y} + s_a t \times s_{\sigma y}) \times j \\ &= (1521 \times 295 + 635 \times 295) \times 901.2 / 10^6 \\ &= 573 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} gMa_{下} &= a_t \times r_{\sigma y} \times j \\ &= 1521 \times 295 \times 901.2 / 10^6 \\ &= 404 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qma &= (gMa_{上} + gMa_{下}) / L \\ &= (573 + 404) / 1.8 \\ &= 542.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qsa &= b \times j \times (2/3 \times \alpha \times f_s) \\ &= 400 \times 901.2 \times (2/3 \times 2 \times 1.02) / 1000 \\ &= 490.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} gQa &= \min(Qma, Qsa) \\ &= \min(542.7, 490.2) \\ &= 490.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

②FG7 梁

$b = 700 \text{ mm}$ 、 $D = 2000 \text{ mm}$ 、 $dt = 70 \text{ mm}$ 、 $d = 1930 \text{ mm}$ 、 $j = 1688 \text{ mm}$ 、 $L = 1800 \text{ mm}$

$F_c = 20.59 \text{ N/mm}^2$ 、 $r \sigma_y = 295 \text{ N/mm}^2$  (SD295)、 $\sigma_{wy} = 235 \text{ N/mm}^2$  (SR235)

$f_s = 1.02 \text{ N/mm}^2$ 、 $at = 3 \times A_{oD25} = 1521 \text{ mm}^2$ 、st. 2- $\phi 13$ 、間隔 300 mm

$\alpha = 4 / (M / (Q \times d) + 1) = 4 / (L / (2 \times d) + 1) = 2.727 \rightarrow 2.00$ 、

$pw = 0.001$  (0.2%無い為耐力に考慮しない。)

床仕様 協力幅 = 1000 mm、配筋径 = D13、間隔 = 200、BF sat =  $5 \times A_{oD13} = 635 \text{ mm}^2$

配筋径 = D10、間隔 = 200、F sat =  $5 \times A_{oD10} = 355 \text{ mm}^2$

$s \sigma_y = 295 \text{ N/mm}^2$  (SD295)

梁の上部鉄筋における許容曲げモーメント ( $gMa$  上)、梁の下部鉄筋における許容曲げモーメント ( $gMa$  下)、短期許容せん断力 ( $Qma$ 、 $Qsa$ 、 $gQa$ ) は以下となる。

$$\begin{aligned} gMa_{\text{上}} &= (at \times r \sigma_y + sat \times s \sigma_y) \times j \\ &= (1521 \times 295 + 635 \times 295) \times 1688 / 10^6 \\ &= 1073 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} gMa_{\text{下}} &= (at \times r \sigma_y + sat \times s \sigma_y) \times j \\ &= (1521 \times 295 + 355 \times 295) \times 1688 / 10^6 \\ &= 934 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qma &= (gMa_{\text{上}} + gMa_{\text{下}}) / L \\ &= (1073 + 934) / 1.8 \\ &= 1115.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qsa &= b \times j \times (2/3 \times \alpha \times f_s) \\ &= 700 \times 1688 \times (2/3 \times 2 \times 1.02) / 1000 \\ &= 1606.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} gQa &= \min(Qma, Qsa) \\ &= \min(1115.0, 1606.9) \\ &= 1115.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

(3) 既存耐震壁架構の耐力算定：排気筒の取り付く 2、3 軸間の既存耐震壁の許容耐力  $wMa$  耐震壁架構の耐力 ( $wMa$ ) は以下となる。

$$\begin{aligned}
 wMa \text{ 左加力} &= wMa' + M' + Q \times Lo \\
 &= wMa' + (G9 \text{ 梁 } gMa \text{ 上} + FG7 \text{ 梁 } gMa \text{ 上}) + (G9 \text{ 梁 } gQa + FG7 \text{ 梁 } gQa) \times Lo \\
 &= 17710 + (573 + 1073) + (490.2 + 1115.0) \times (4.2 + 0.6) / 2 \\
 &= 23208 \text{ kN}\cdot\text{m} > \text{排気筒 } M (=15580) \\
 wMa \text{ 右加力} &= wMa' + (G9 \text{ 梁 } gMa \text{ 下} + FG7 \text{ 梁 } gMa \text{ 下}) + (G9 \text{ 梁 } gQa + FG7 \text{ 梁 } gQa) \times Lo \\
 &= 17370 + (404 + 934) + (490.2 + 1115.0) \times (4.2 + 0.6) / 2 \\
 &= 22560 \text{ kN}\cdot\text{m} > \text{排気筒 } M (=15580)
 \end{aligned}$$

耐震壁架構の耐力は、排気筒に生じる応力より大きいため、2、3 通り間の既存耐震壁架構によって排気筒に生じる応力を伝達できることを確認した。

計算によって排気筒基礎部から既設建家まで力が伝達されること及び壁面の面外せん断力がスラブに伝達可能であることが確認できたため、既設建家の安定性や地耐力、接続部の健全性は問題ないと考えられ、排気筒と既設建家は一体構造であるといえる。

## 2. 排気筒 RC 部の最上部の配筋について

排気筒 RC 部の最上部（最上部から 495 mm の範囲）のコンクリートは、アンカーボルトを腐食等から保護するためのものであり、強度上の期待はしていない。この部分のコンクリートには鉄筋として、差筋（縦筋）及び横筋を施工するが、これらの鉄筋は、コンクリートのひび割れを防止するためのものである。



### 3. 開口部の評価方法について

#### 3.1 煙突構造設計指針による評価

開口部の検討は煙突構造設計指針に則って評価している。本評価では設計荷重として積算荷重及び最も荷重の大きくなる地震力の曲げモーメントを採用している。また、開口部周辺には応力集中が考えられるため、開口部の高さや幅、隅角部の角度といった開口部の形状に応じた応力集中係数を乗じ、評価を行っている。煙突構造設計指針では、開口部の形状以外に有限幅 2Bd に相当するものとして、開口部分の筒身外径 D による円断面に等しくなるような正方形断面の辺長さを採用し、これを計算モデルとしている。計算モデルを排気筒内部から見ると図 3-1 のような展開図になる。

展開図から計算モデルの最外縁である 2Bd×2Bd の正方形が重なっていないことから、別々に評価を行って問題ないと考えられる。

#### 3.2 一般式による座屈の評価

排気筒開口部において、開口部の補強を考慮せずに一般式の座屈評価を行ったところ十分に余裕があることを確認した。煙突構造設計指針による開口部の評価及び一般式による座屈評価のどちらにおいても十分裕度がある。

##### (1) 開口部にかかる座屈応力度の評価

###### ① 開口部の局部座屈に対する許容応力度

開口部の局部座屈に対する長期許容応力度  $f_c''$  は、塔状鋼構造設計指針・同解説「4 章 各部構造の算定 4.3 径厚比の大きい円筒の圧縮・曲げおよびせん断」より導出した以下の式により求める。

なお、評価は、腐食代を考慮し、また、開口補強プレートを除いた板厚で行った。

条件式	計算式
$OD/te \leq 23500/F$	$f_c'' = F/1.5$
$23500/F < OD/te \leq 137000/F$	$f_c'' = (105 - 0.00034 \times F \times OD/te) \times F / (132 + 0.00065 \times F \times OD/te)$
$OD/te > 137000/F$	$f_c'' = 36500 / (OD/te)$

位置	高さ GL+ (m)	外径 OD (mm)	有効板厚 te (mm)	径厚比 OD/te	長期許容応力度 $f_c''$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
点検口上部	9.250	2283	17	134.3	145.2	217.8
点検口下部	8.750	2295	17	135.0	145.0	217.5
ダクト上部	8.100	2311	17	135.9	144.8	217.2
ダクト下部	7.500	2326	17	136.8	144.5	216.7

② 開口部にかかる応力度

各位置における応力度を以下の一般式より求めた。

圧縮応力度：  $\sigma N = N/Ae$

曲げ応力度：  $\sigma M = M/Ze$

合成応力度：  $\sigma Mc = \sigma N + \sigma M$

位置	高さ GL+ (m)	断面積 Ae (mm <sup>2</sup> )	断面係数 Ze (mm <sup>3</sup> )	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	圧縮 応力度 $\sigma N$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 応力度 $\sigma M$ (N/mm <sup>2</sup> )	合成 応力度 $\sigma Mc$ (N/mm <sup>2</sup> )
点検口上部	9.250	1.060×10 <sup>5</sup>	4.745×10 <sup>7</sup>	220.8	4421	2.1	93.2	95.3
点検口下部	8.750	1.066×10 <sup>5</sup>	4.802×10 <sup>7</sup>	226.3	4589	2.2	95.6	97.8
ダクト上部	8.100	1.038×10 <sup>5</sup>	4.438×10 <sup>7</sup>	246.5	4820	2.4	108.7	111.1
ダクト下部	7.500	1.046×10 <sup>5</sup>	4.514×10 <sup>7</sup>	253.1	5045	2.5	111.8	114.3

上記より、排気筒開口部に発生する座屈応力度は短期許容応力度以下である。

③ 評価

一般式及び煙突構造設計指針の評価を以下に示す。なお、煙突構造設計指針の評価は補強を考慮した 7.2 鋼板部の開口部の計算結果より引用した。

一般式による評価

位置	高さ GL+ (m)	合成応力度 $\sigma_{Mc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力比 $\sigma_{Mc}/f_c$
点検口上部	9.250	95.3	217.8	0.44
点検口下部	8.750	97.8	217.5	0.45
ダクト上部	8.100	111.1	217.2	0.52
ダクト下部	7.500	114.3	216.7	0.53

煙突構造設計指針による評価

位置	高さ GL+ (m)	合成応力度 $\sigma_{Mc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力比 $\sigma_{Mc}/f_c$
点検口上部	9.250	106.3	216.1	0.50
点検口下部	8.750	109.5	216.1	0.51
ダクト上部	8.100	105.7	216.1	0.49
ダクト下部	7.500	108.9	216.1	0.51

上記より、一般式及び煙突構造設計指針による評価のどちらにおいても強度上十分な余裕があることを確認した。

### 3.3 JIS 及び ASME による排気筒開口部の相互影響の確認

排気筒開口部は、排気筒内部を点検するための点検口及び建家から接続するダクトの2か所あり、この開口部は近接された場所に設けられるため、相互に影響を与えることがないことを JIS 及び ASME を用いて確認を行う。

#### (1) JIS による評価

「JIS B 8266 (圧力容器の構造—特定規格) 付属書 2 (規定) 圧力容器の穴補強 2.3 補強を要しない穴」の c) により評価する。

c) 補強されない穴の中心が局所的な応力場の最近接端から少なくとも  $2.5\sqrt{Rm \cdot t}$  以上離れていなければならない。

$Rm$ :  $R$ (当該断面における排気筒内半径)+ $0.5t$ (排気筒厚さ)

$t$ : 当該断面における排気筒厚さ

考える断面の半径  $Rm$  は、 $1144 \text{ mm} + 9.5 \text{ mm}$  とし、板厚  $t$  は、 $19 \text{ mm}$  とする。

これらから、 $2.5\sqrt{Rm \cdot t} = 370.2 \text{ mm}$  となり、点検口及びダクトの中心はそれ以上離れていることから基準を満足する (図 3-2 参照)。

#### (2) ASME による評価

「ASME BPVC. VIII. 2-2015 4.3.10 COMBINED LOADINGS AND ALLOWABLE STRESSES」により評価する。

4.3.10.1

(中略)

(a) The rules are applicable for regions of shells that are  $2.5\sqrt{Rt}$  from any major structural discontinuity.

$R$ : 当該断面における排気筒内半径

$t$ : 当該断面における排気筒厚さ

考える断面の半径  $R$  は、 $1144 \text{ mm}$  とし、板厚  $t$  は、 $19 \text{ mm}$  とする。

これらから、 $2.5\sqrt{R \cdot t} = 368.6 \text{ mm}$  となり、点検口及びダクトの端部はそれ以上  $1776.18 \text{ mm}$  離れていることから基準を満足する (図 3-2 参照)。

#### (3) 評価結果

JIS 及び ASME による検討(開口部間距離の確認)を行った結果、開口部間距離が十分離れていることを確認した。このことから開口部2か所は相互に影響を与えることはないと考えられる。

## 4. 排気筒 RC 部のアンカーボルトについて

## (1) アンカーボルトから縦筋 D38 までの力の伝達の考え方について

アンカーボルトから縦筋 D38 への力の伝達は、アンカーボルトの発生する引張力がアンカープレートを通じてコーン破壊の想定ライン内でコーン状に力が伝わり、縦筋 D38 に伝達されることを想定している。

付録 1 ホットラボ排気筒の計算書では煙突構造設計指針に則り、アンカーボルトの引張やせん断、アンカープレートにかかる圧縮や曲げ、せん断に対し検討しており強度上問題のないことを確認している。また、アンカープレート側面におけるコンクリートのせん断についても検討を行っており、アンカーボルトの引張力によって発生するせん断力に対し強度上問題ないことを確認している。

計算では、鉄筋コンクリート構造計算規準の付着の検討式を準用しており、アンカーボルトに発生する引張力がコーン破壊を想定した有効付着長さの範囲で縦筋 D38 に伝達可能であることを確認している。

なお、コンクリートのコーン破壊を想定しているが、許容応力度法による計算式で問題ないレベルであるため付着が期待出来ないようなひび割れは発生しないと考えている。

## (2) コーン破壊に対する確認について

引張力がかかるアンカーボルト(38本)に対してコーン破壊についての検討を行ったところ、コンクリートに強度上問題がないことを確認した(図 4-1 参照)。

また、アンカーボルトに係る引張応力の応力度分布を考慮した場合、最外縁におけるアンカーボルトには最も大きな引張力が発生することとなるため、最も引張力が大きくなる最外縁のアンカーボルト(1本)に対し、コーン状破壊の検討を行い、強度上問題のないことを確認した。なお、検討では「各種合成構造設計指針」に基づきアンカーボルト近傍の鉄筋(補強筋)の効果を期待することとする。

## ① アンカー部分のコーン破壊耐力の検討

設計基準強度 :  $F_c = 21.0 \text{ N/mm}^2$ 、水平投影面積 :  $A_c = 4134935 \text{ mm}^2$

各種合成構造設計指針より

引張強度 :  $c \sigma_t = 0.31 \times \sqrt{F_c} = 1.42 \text{ N/mm}^2$

許容引張力 :  $P_a = 2/3 \times c \sigma_t \times A_c$

$$= 2/3 \times 1.42 \times 4134935 / 1000$$

$$= 3914.4 \text{ kN}$$

② 作用応力との比較

作用応力度合計：192524.4 N/cm<sup>2</sup>

柱脚時の各点における引張応力度の合計値と許容引張力を比較すると

作用応力：192524.4 N/cm<sup>2</sup>×14.7 cm<sup>2</sup>/1000= 2830.1 kN < Pa (=3914.4 kN)

上記から、アンカーボルトにかかる引張力によってコーン破壊しないことを確認した。

このことからアンカーボルトのコーン破壊を想定した範囲での鉄筋の付着力で、力が伝達可能であることも確認しているため、強度上の問題が発生するひび割れの心配がなく、コンクリートを介して力の伝達が可能であると考えられる。

なお、アンカープレートがアンカーボルトの引張力によって曲がらないこと、アンカープレート側面のコンクリートがせん断破壊しないことから、局部的に破壊されることはなく、引張側に働く面積におけるアンカーボルトを検討することで十分であると考えられる。

(3) 最外縁のアンカーボルトに作用するコーン破壊に関する検討

最外縁のアンカーボルトに作用する引張力に対してコンクリートが健全であるかどうかの検討を行う。なお、検討に際しては「各種合成構造設計指針(日本建築学会) 4.1.2 アンカーボルトの性能」におけるアンカーボルト近傍の補強筋の効果に関する記述をもとに検討を行うものとする。計算モデルを図 4-2 に示す。

①材料仕様

鉄筋、コンクリートの材料の仕様は以下とする。

コンクリートの設計基準強度 :  $F_c = 21 \text{ N/mm}^2$

アンカーボルトの断面積 :  $A_o = 1470 \text{ mm}^2$

縦筋 D38 の断面積 :  $a_t = 1140 \text{ mm}^2$

縦筋 D38 の短期許容引張応力度 :  $f_t = 345 \text{ N/mm}^2$

②最大引張力の算定

引張力が最大となるアンカーボルトは、図 4-2 斜線部における最外縁のアンカーボルトである。

最外縁部の引張応力度  $\sigma_t = 85.521 \text{ N/mm}^2$  (参考資料 2 解析結果より)

最大引張力  $T_{\max} = \sigma_t \times A_o$

$$= 85.521 \times 1470 / 10^3$$

$$= 125.8 \text{ kN}$$

③引張抵抗力の算定

アンカーボルトに作用する引張力に対するコンクリート及び新設鉄筋の抵抗耐力を算定する。

○アンカー部のコーン破壊耐力

有効水平投影面積  $A_c$  を図 4-3 より  $A_c = A_1 - \Delta A_2 - \Delta A_3$  で算出する。

アンカーボルト 2 本当たりのコンクリート断面積 :

$$A_1 = 1/2 \times 311.23 \times 1580$$

$$= 245872 \text{ mm}^2$$

$$\Delta A_2 = \pi \times 1165.5^2 \times 11.25 / 360$$

$$= 133360 \text{ mm}^2$$

$$\Delta A_3 = \text{縦筋 D38 の断面積}$$

$$= 1140 \text{ mm}^2$$

$$\text{有効水平投影面積 : } A_c = A_1 - \Delta A_2 - \Delta A_3$$

$$= 111372 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{コンクリートの引張強度} : c \sigma_t &= 0.31\sqrt{F_c} \\ &= 1.42 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{コーン破壊耐力} : P_{ac} &= 2/3 \times c \sigma_t \times A_c \\ &= 2/3 \times 1.42 \times 111372/10^3 \\ &= 105.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### ○鉄筋の引張耐力

各種合成構造設計基準によりアンカーの有効埋込み長さ×0.2 の範囲にある鉄筋を引張りに有効な鉄筋として算定する。

有効埋め込み長さ L=1800 mm

→ 有効範囲 360 mm (図 4-4 参照)

※安全側評価として有効範囲内には D38 が 1 本とする。

$$\begin{aligned} \text{D38 引張耐力} : P_{ar} &= a_t \times f_t \\ &= 1140 \times 345/10^3 = 393.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{抵抗力} &= \text{コーン破壊耐力} + \text{鉄筋の引張耐力} \\ &= 105.4 + 393.3 \\ &= 498.7 \text{ kN} \geq T_{\max} (=125.8 \text{ kN}) \end{aligned}$$

以上より、最外縁のアンカーボルトに作用する引張力は、コンクリート及び鉄筋の合計許容耐力以下であることを確認した。

#### 5. 共振等に関する基準等の記載

JEAC4601-2008 3.1.4 耐震設計の基本方針 3.1.4.1 基本的な方針 (2) には、Bクラスの建物・構築物は、静的地震力に耐えうるものと記載があり、共振については記載がない。

上記のことから、建物・構築物である本排気筒の設計では共振についての検討は省略している。

#### 6. アンカーボルトの許容付着応力度について

本排気筒の設計では、アンカーボルトの許容付着応力度の評価はしておらず、アンカーボルトと縦筋 D38 の付着応力度の検討を行なっている。アンカーボルトに発生する引張力がアンカープレートを通じてコーン状に力が伝わり、縦筋 D38 に伝達される位置からフックの中心までを有効付着長さとして計算を行っており、問題ないことを確認している。



表 1 評価における記号及び端数処理について (1/2)

「1. 排気筒基礎部から既設建家までの力の伝達について」に使用している使用記号一覧及び有効数字の処理方法を以下に示す。

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
A	A <sub>OD10</sub>	呼び径 D10 の断面積(RC 規準より)	71	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>OD13</sub>	呼び径 D13 の断面積(RC 規準より)	127	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>OD16</sub>	呼び径 D16 の断面積(RC 規準より)	199	mm <sup>2</sup>	—
	A <sub>OD25</sub>	呼び径 D25 の断面積(RC 規準より)	507	mm <sup>2</sup>	—
	at	鉄筋の総断面積	整数	mm <sup>2</sup>	—
B	B	柱幅	整数	mm	—
	b	梁幅	整数	mm	—
D	D	せい	整数	mm	—
	d	有効せい	整数	mm	—
	dt	かぶり厚さ	整数	mm	—
F	f <sub>s</sub>	コンクリートの短期許容せん断応力度	1.02	N/mm <sup>2</sup>	切下げ
G	gMa 上	梁の上部鉄筋における許容曲げモーメント	小数第 1 位	kN・m	切下げ
	gMa 下	梁の下部鉄筋における許容曲げモーメント	小数第 1 位	kN・m	切下げ
	gQa	短期許容せん断力	小数第 1 位	kN	—
J	j	応力中心距離	整数	mm	切下げ
L	L <sub>w</sub>	柱間距離	整数	mm	—
M	M	設計モーメント	整数	kN・m	切上げ
	Ma1	柱の許容曲げモーメント	整数	kN・m	切下げ
	Ma2	柱の許容曲げモーメント	整数	kN・m	切下げ
N	N	柱にかかる軸力	小数第 1 位	kN	四捨五入
	N1	柱にかかる軸力	小数第 2 位	kN	四捨五入
	N2	柱にかかる軸力	小数第 1 位	kN	四捨五入
	n	協力幅の数(両側)	2	—	—
P	P	柱にかかる応力	整数	kN	切上げ
	Pa	梁の断面力	整数	kN	切下げ
	Pw	梁・柱のせん断補強筋比	小数第 3 位	—	切下げ

表 1 評価における記号及び端数処理について (2/2)

	記号	記号の意味	表示桁	単位	処理方法
Q	Q	設計せん断力	整数	kN	切上げ
	Q <sub>ma</sub>	短期許容せん断力	小数第 1 位	kN	切下げ
	Q <sub>sa</sub>	短期許容せん断力	小数第 1 位	kN	切下げ
R	rat	鉄筋の総断面積	整数	mm <sup>2</sup>	—
	rσ <sub>y</sub>	鉄筋の降伏強度	整数	N/mm <sup>2</sup>	—
S	sat	鉄筋の総断面積(協力幅)	整数	mm <sup>2</sup>	—
	sσ <sub>y</sub>	鉄筋の降伏強度(協力幅)	整数	N/mm <sup>2</sup>	—
T	t	壁厚	整数	mm	—
W	wMa 左加力	耐震壁 W30 の曲げ耐力(南→北)	整数	kN・m	切下げ
	wMa 右加力	耐震壁 W30 の曲げ耐力(北→南)	整数	kN・m	切下げ
	wMa' 左加力	耐震壁 W30 の曲げ耐力(南→北)	整数	kN・m	—
	wMa' 右加力	耐震壁 W30 の曲げ耐力(北→南)	整数	kN・m	—
α	α	梁・柱のせん断スパン比による割増係数	小数第 3 位	—	切下げ
σ	σ <sub>y</sub>	鉄筋の降伏強度(SD295)	整数	N/mm <sup>2</sup>	—
	σ <sub>wy</sub>	鉄筋の降伏強度(SR235)	整数	N/mm <sup>2</sup>	—

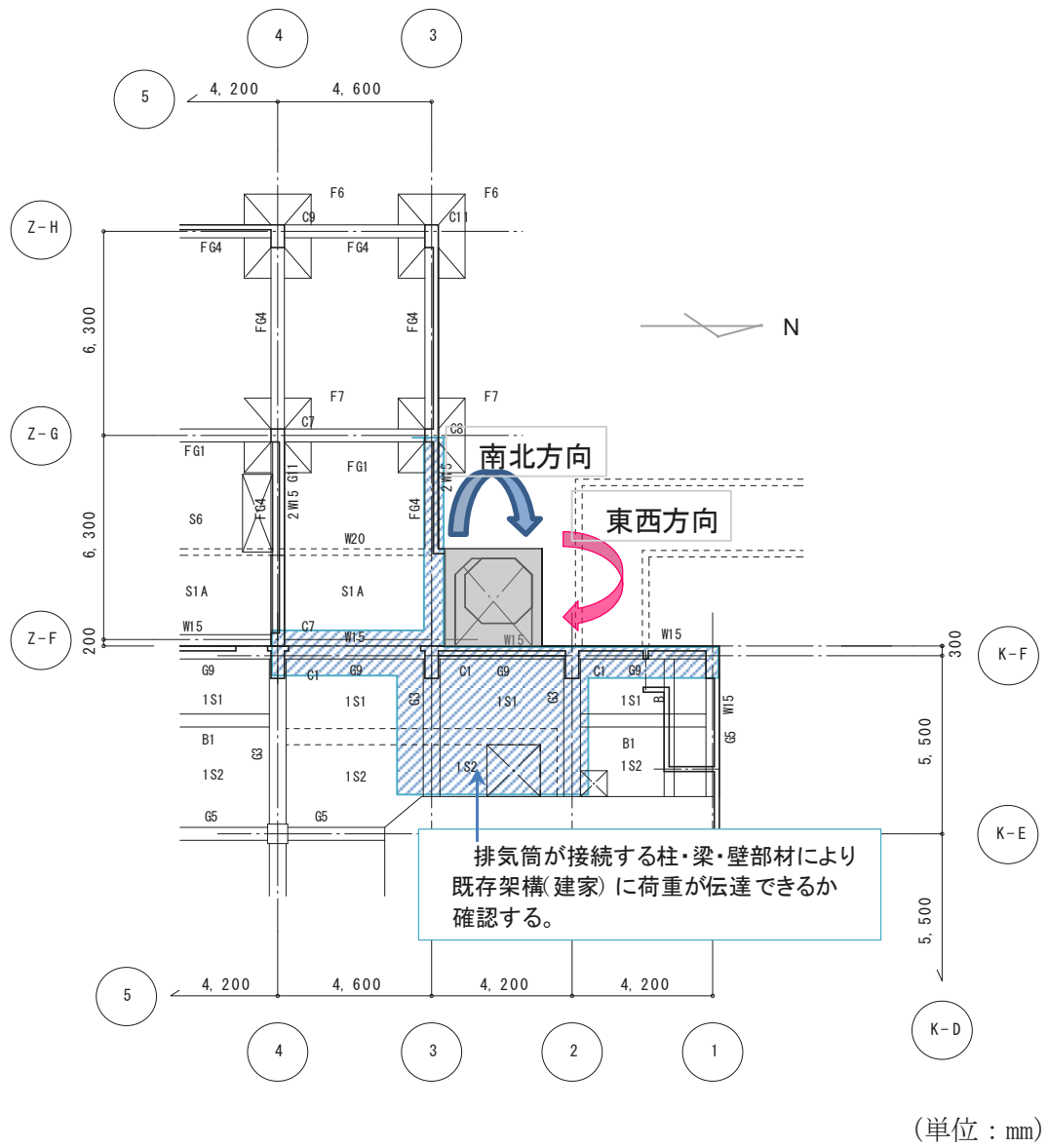
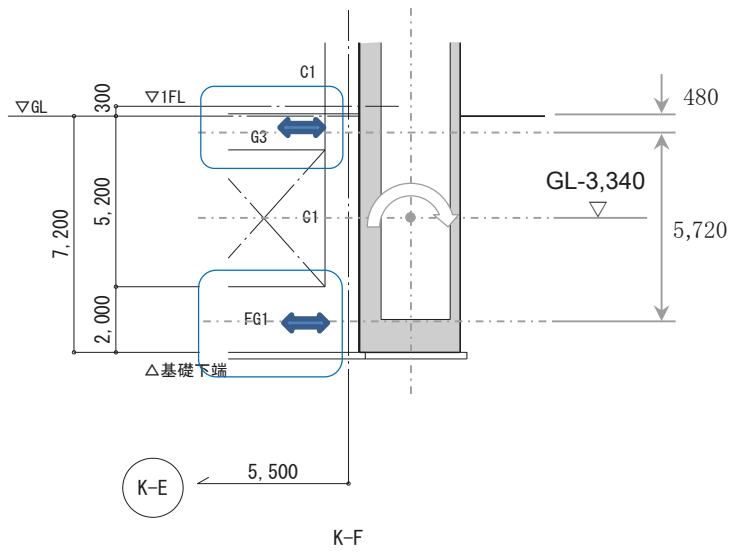
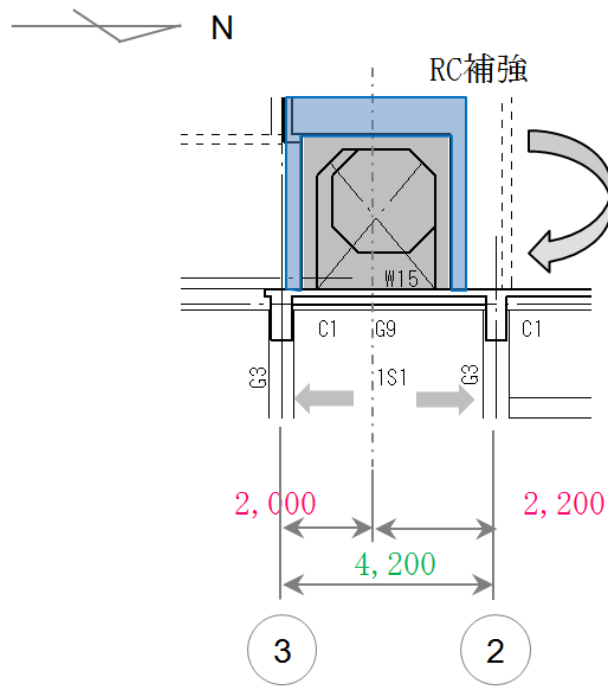


図 1-1 既存架構等の概略モデル



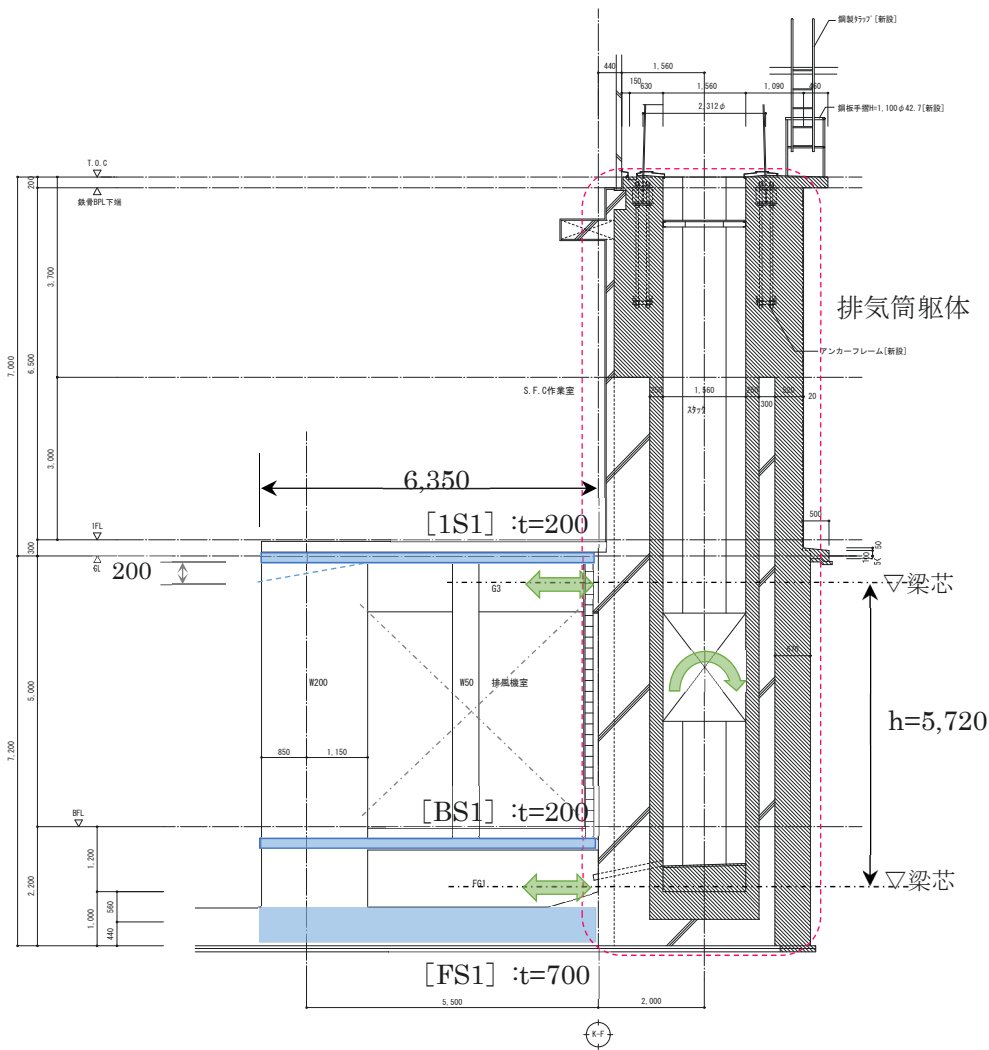
(単位：mm)

図 1-2 東西方向計算モデル (縦断面)



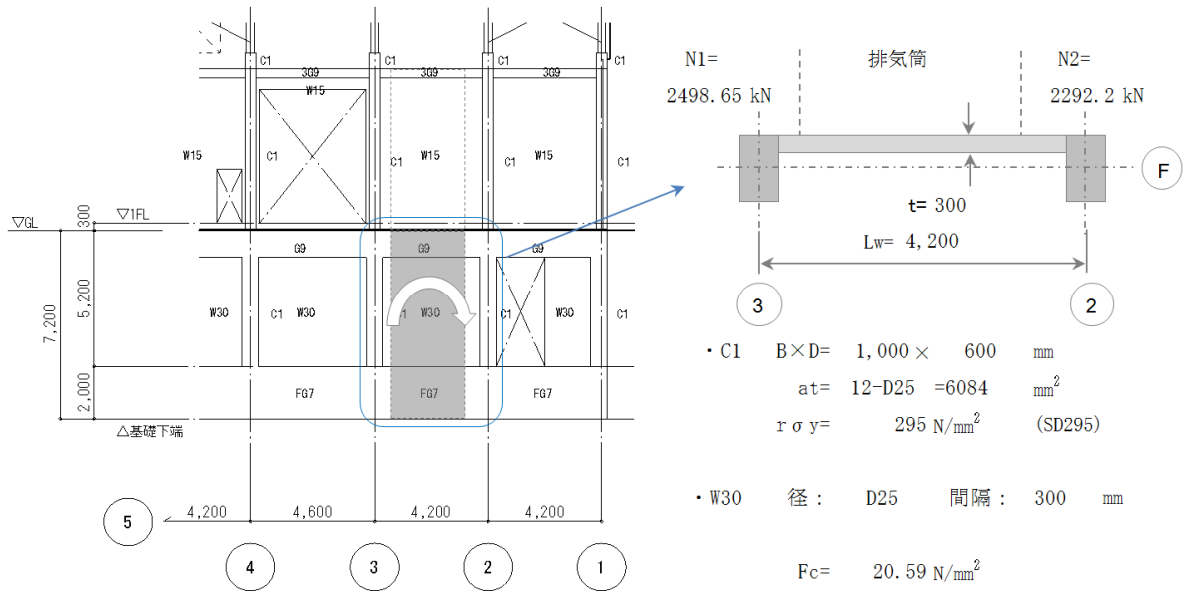
(単位：mm)

図 1-3 東西方向計算モデル (横断面)



(単位 : mm)

図 1-4 面外応力の検討の計算モデル (縦断面)



(単位 : mm)

図 1-5 南北方向計算モデル (縦断面)

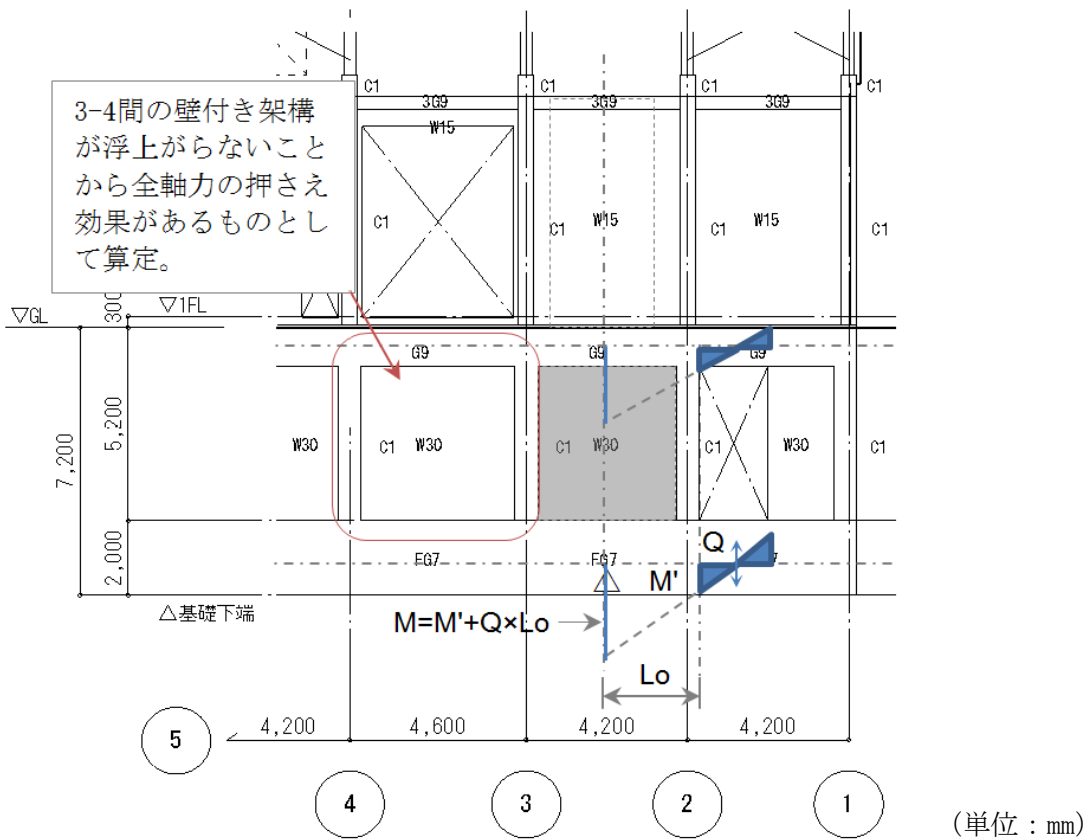


図 1-6 南北方向計算モデル（縦断面）（拡大図）

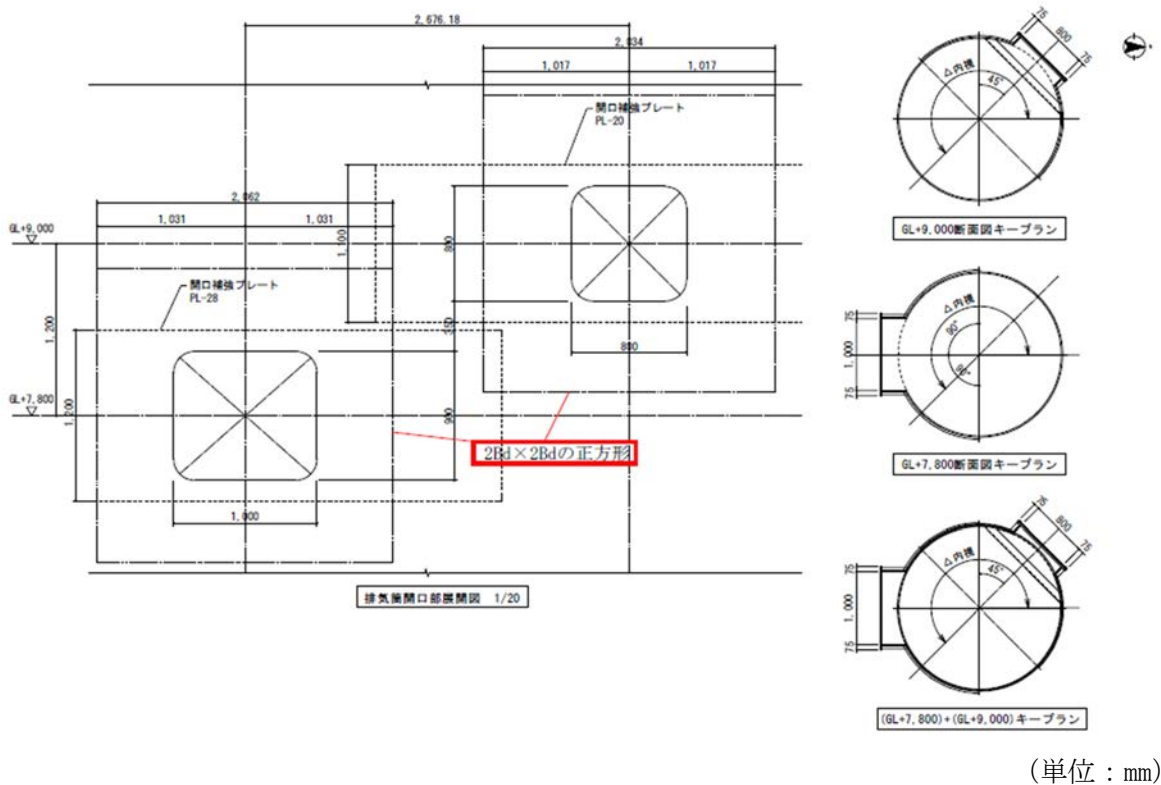
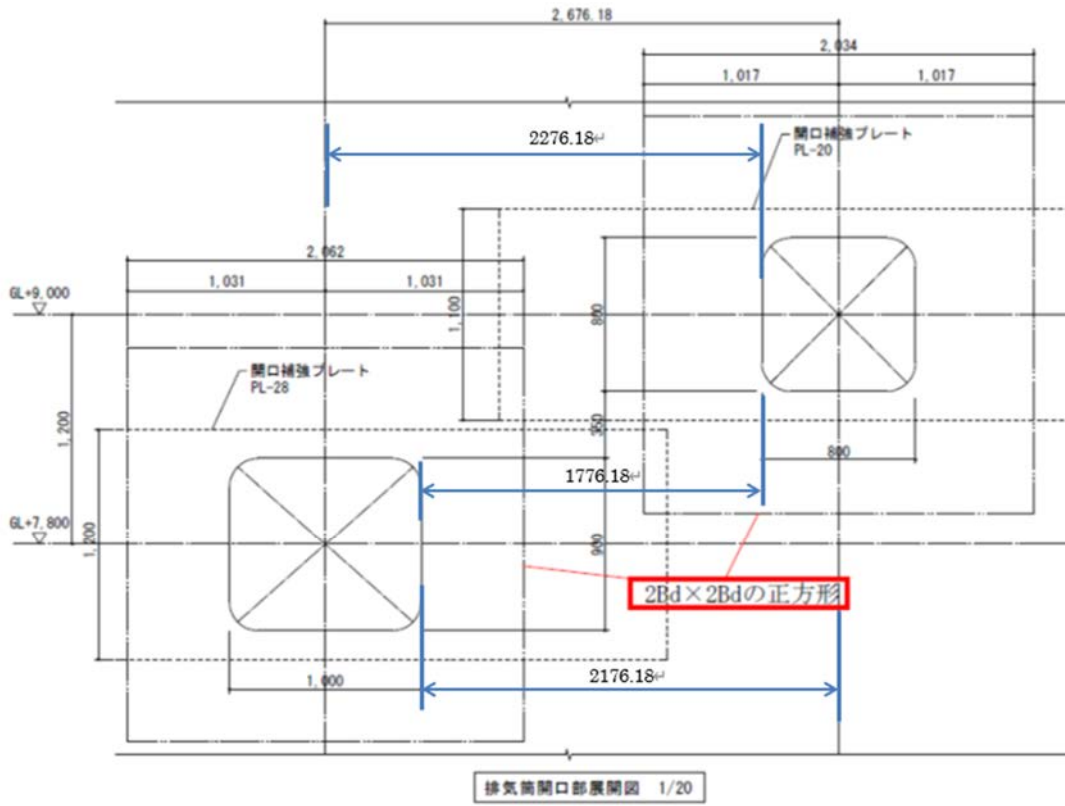


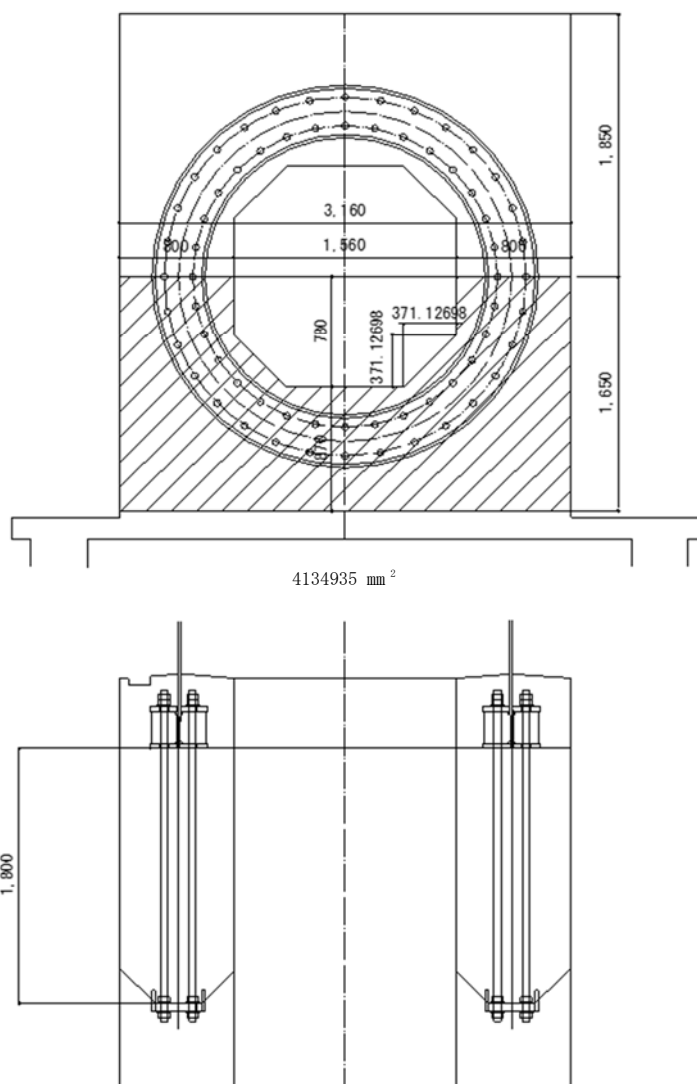
図 3-1 排気筒内部からの展開図



(単位：mm)

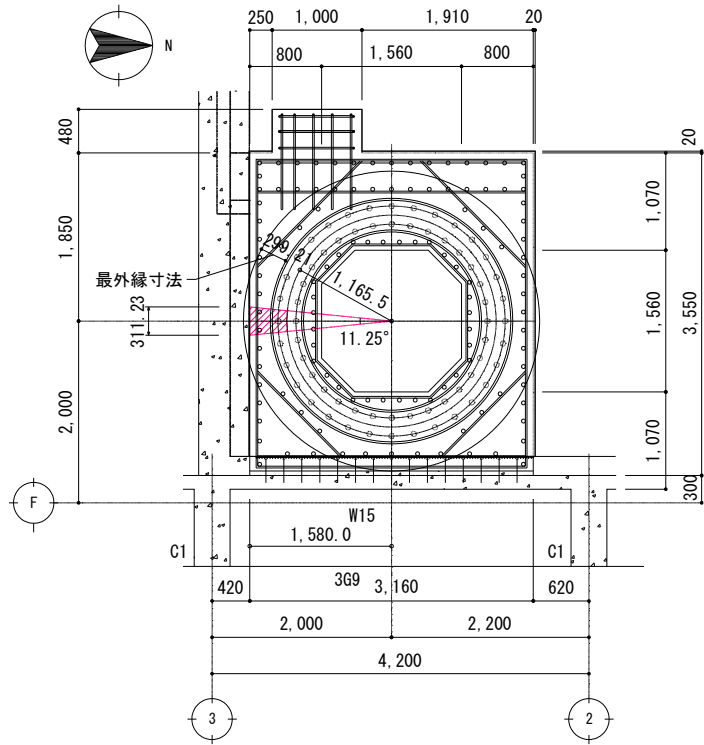
図 3-2 排気筒開口部展開図





(単位：mm)

図 4-1 アンカーボルトのコーン状破壊の面積



(単位 : mm)

図 4-2 計算モデル

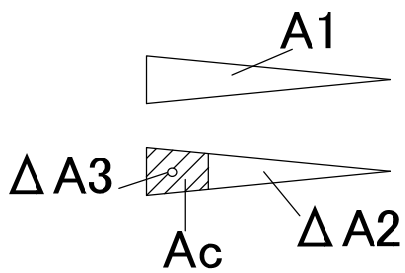
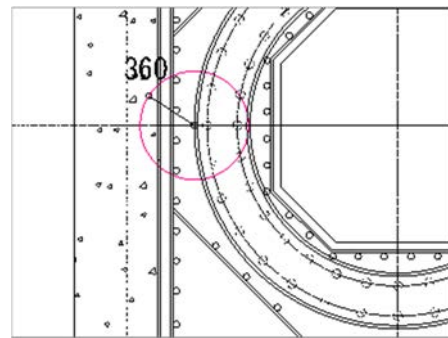


図 4-3 水平投影面積算出モデル



(単位 : mm)

図 4-4 有効範囲

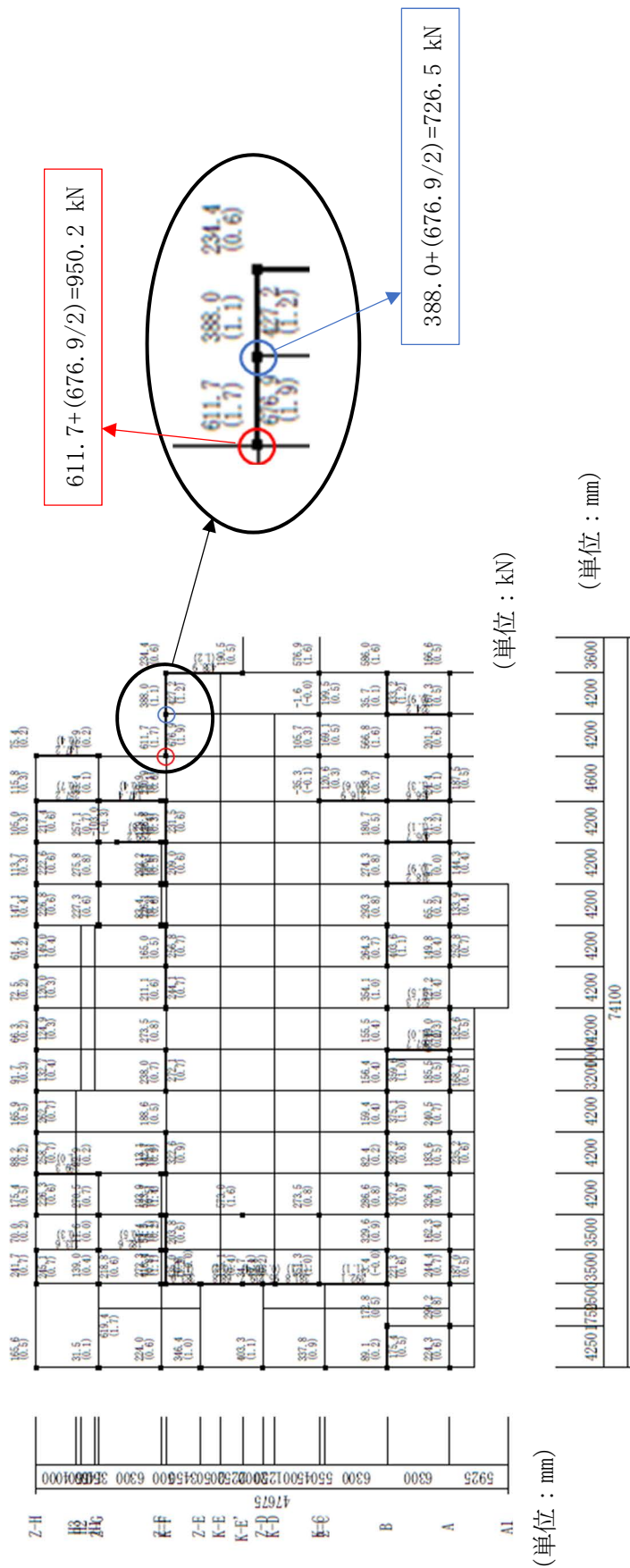
参考資料 1

2 通り側 C1 柱及び 3 通り側 C1 柱に係る軸力は、ホットロボ建家の耐震評価時の値を用いる。

SEIN La CREA-機能追加版 Ver 3, 0, 2, 10

U6-043

Σ N = 36300.4kN



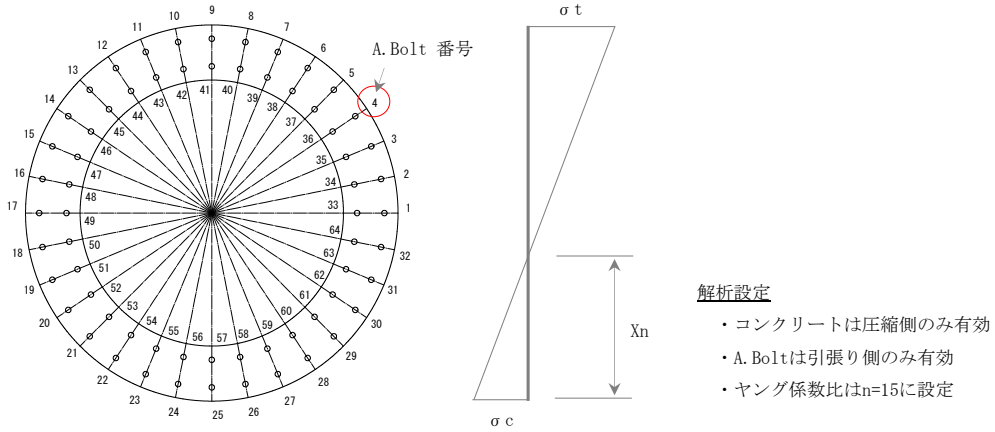
1F (ZS2)

参考資料 2

最外縁のアンカーボルトに係る引張応力度は、ホットラボ排気筒取替工事構造計算書での評価値を用いる。

解析結果

力の釣合式に基づきB. PLの圧縮応力、A. Boltの引張応力の算定結果を以下に示す。



・解析集計結果

No.	$\sigma_t$ ( $N/cm^2$ )	No.	$\sigma_t$ ( $N/cm^2$ )	検討応力時
1	-1935.0	33	-1935.0	
2	-3225.9	34	-3021.9	
3	-4467.3	35	-4067.0	
4	-5611.2	36	-5030.2	
5	-6614.0	37	-5874.5	
6	-7436.9	38	-6567.4	
7	-8048.4	39	-7082.2	
8	-8424.9	40	-7399.3	
9	-8552.1	41	-7506.3	
10	-8424.9	42	-7399.3	
11	-8048.4	43	-7082.2	
12	-7436.9	44	-6567.4	
13	-6614.0	45	-5874.5	
14	-5611.2	46	-5030.2	
15	-4467.3	47	-4067.0	
16	-3225.9	48	-3021.9	
17	-1935.0	49	-1935.0	
18	-644.0	50	-848.0	
19	0.0	51	0.0	
20	0.0	52	0.0	
21	0.0	53	0.0	
22	0.0	54	0.0	
23	0.0	55	0.0	
24	0.0	56	0.0	
25	0.0	57	0.0	
26	0.0	58	0.0	
27	0.0	59	0.0	
28	0.0	60	0.0	
29	0.0	61	0.0	
30	0.0	62	0.0	
31	0.0	63	0.0	
32	-644.0	64	-848.0	



