

地質環境モデルの構築技術に関する研究(II)

—研究概要—

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2003 年 2 月

三菱マテリアル株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転写する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2003

地質環境モデルの構築技術に関する研究(II)

-研究概要-

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

辻本恵一*, 篠原芳紀*, 齋藤茂幸*, 上田真三*,
大橋東洋*, 佐々木良一*, 富山真吾*

要 旨

従来の地層処分の研究開発では仮想的な地質環境を前提に性能・安全評価が実施されてきたが、今後は具体的な地質環境条件を考慮した設計・シナリオに基づいて安全評価を行うことが重要になると考えられる。そのため地層処分の研究開発を構成する3分野（地質環境条件の調査、処分技術、安全評価）の連携が世界的な研究課題である。そこで、各分野における試験データ取得から解析・評価に至るまでの情報の流れを整理し、これらを有機的かつ階層的に統合した知識ベースとして体系化していくことが重要となる。

本研究では、平成13年度に実施した「地質環境モデルの構築技術に関する研究」の成果に基づいて、地質環境モデルの構築に関するワークフローの整理及び拡充を行った。地質構造及び水理分野におけるワークフローを見直し、地球化学及び岩盤物性分野のワークフローの検討を行った。さらに地質環境モデルの構築技術の体系化に基づいて、統合解析システムの地質環境分野のデータベース（知識ベース）機能を実現するための設計検討を行った。データベースの設計検討を行い、システムの設計検討に資するためにプロトタイプを作成した。

本報告書は三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した研究成果に関するものである。

機構担当課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析グループ

*三菱マテリアル株式会社

Study on the Development of Geological Environmental Model(II) Outline

(Document Prepared by Other Institute, Based on the Trust Contract)

**Keiichi Tsujimoto*, Yoshinori Shinohara*, Shigeyuki Saito*, Shinzo Ueta*,
Toyo Ohashi*, Ryouichi Sasaki*, Shingo Tomiyama***

ABSTRACT

The safety performance assessment was carried out in imaginary geological environment in the conventional research and development of geological disposal, but the importance of safety assessment based on the repository design and scenario considering the concrete geological environment will increase in the future. The research considering the link of the major three fields of geological disposal, investigation of geological environment, repository design, and safety performance assessment, is the contemporary worldwide research theme. Hence it is important to organize information flow that contains the series of information process from the data production to analysis in the three fields, and to systemize the knowledge base that unifies the information flow hierarchically.

The information flow for geological environment model generation process is examined and modified base on the product of the research of “ Study on the development of geological environment model ” that was examined in 2002. The work flow diagrams for geological structure and hydrology are modified, and those for geochemical and rock property are examined from the scratch. Furthermore, database design was examined to build geoclinal environment database (knowledgebase) based on the results of the systemization of the environment model generation technology. The geoclinal environment database was designed and the prototype system is build to contribute database design.

This Work was performed by Mitsubishi Materials Co. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Tokai Works, Waste Isolation Research Division, Repository System Analysis Group

* Mitsubishi Materials Co.

目 次

1	はじめに.....	1
2	地質環境モデルの構築技術に関する検討	2
2.1	ワークフロー全体の概括	2
2.2	地質・地質構造分野及び地下水流動分野のワークフローの充実	4
2.2.1	地質調査及び水理調査に関する検討	4
2.2.2	地下水流動分野のワークフローの検討.....	4
2.2.3	既存のモデル構築例に基づく検討.....	10
2.3	地球化学分野及び岩盤熱物性・力学分野のワークフローの整理	13
2.3.1	地球化学分野	13
2.3.2	岩盤熱物性・力学分野.....	17
2.4	ワークフロー及びワークシート	20
2.5	地質環境データベースの設計検討	22
2.5.1	地質環境データベースの設計検討.....	22
2.5.2	地質環境データベースのプロトタイプの開発.....	41
3	おわりに.....	68
4	今後の課題	69
5	参考文献.....	70

目 次

図 2.1-1	ワークフロー全体の概括	3
図 2.2.2-1	WH1「地下水流動解析の方針の策定」に着目したワークフロー	7
図 2.2.2-2	WH2「水理地質構造モデルの構築」に着目したワークフロー	8
図 2.2.2-3	WH3「地下水流動モデルの構築」に着目したワークフロー	9
図 2.3.1-2	地球化学特性のモデル構築フロー（レベル 1）	14
図 2.3.2-2	岩盤熱物性・力学物性のモデル構築フロー（レベル 1）	18
図 2.4-1	ワークフロー（全体）	21
図 2.5.1-1	ソフトウェア開発のライフサイクル	23
図 2.5.1-2	計画立案とシナリオの関係	23
図 2.5.1-3	シナリオと情報のデータ構造	25
図 2.5.1-4	テーブルの結合	25
図 2.5.1-5	地質環境データベースとプロジェクト開発管理の関係	27
図 2.5.1-6	システムの拡張性	28
図 2.5.1-7	ボーリングデータから地質構造モデルの作成フロー	30
図 2.5.1-8	データベース構造（計画立案管理、及び地下水流動解析 1）	34
図 2.5.1-9	データベース構造（計画立案管理、及び地下水流動解析 2）	35
図 2.5.1-10	データベース構造（地球化学 1）	37
図 2.5.1-11	データベース構造（地球化学 2）	38
図 2.5.1-12	データベース構造（岩盤物性）	40
図 2.5.2-1	プロトタイプシステム画面遷移図	42
図 2.5.2-2	プロトタイプシステムのデータ管理体系	43
図 2.5.2-3	プロトタイプシステムのテーブル構造	46
図 2.5.2-4	ログイン画面	48
図 2.5.2-5	メインメニュー	48
図 2.5.2-6	ワークフロー画面（地質データ）	49
図 2.5.2-7	ワークフロー画面（水理データ）	50
図 2.5.2-8	ワークフロー画面（“ワークの説明”選択時）	50
図 2.5.2-9	ワーク内容参照画面	51
図 2.5.2-10	ワークフロー画面（“データの登録／加工”選択時）	51
図 2.5.2-11	データ登録画面	52
図 2.5.2-12	品質管理情報入力ナビゲーション機能	53
図 2.5.2-13	データファイルの指定	53
図 2.5.2-14	データファイルの内容の参照	54
図 2.5.2-15	データファイルの参照例（BMP ファイル）	54
図 2.5.2-16	データファイルの参照例（EXCEL ファイル）	55
図 2.5.2-17	データファイルの参照例（TEXT ファイル）	55
図 2.5.2-18	登録データファイル（BMP ファイル）上にラベルを添付	56

図 2.5.2-19	BMP ファイル加工画面.....	57
図 2.5.2-20	EXCEL ファイル加工画面	57
図 2.5.2-21	TEXT ファイル加工画面	58
図 2.5.2-22	メインメニュー（モデル構築支援選択時）	58
図 2.5.2-23	メインメニュー（計画立案選択時）	59
図 2.5.2-24	計画立案指定画面（変更モード）	59
図 2.5.2-25	計画立案作成画面.....	60
図 2.5.2-26	シナリオ操作に関わるメニュー（1）	60
図 2.5.2-27	利用ワーク指定画面	61
図 2.5.2-28	シナリオ操作に関わるメニュー（2）	61
図 2.5.2-29	利用ワーク指定画面（シナリオ登録メニュー）	62
図 2.5.2-30	シナリオ指定画面.....	62
図 2.5.2-31	ワークフロー画面（“シナリオ管理モード”）	63
図 2.5.2-32	ワークフロー画面（“シナリオ管理”選択時）	63
図 2.5.2-33	シナリオ設定画面.....	64
図 2.5.2-34	ワークフロー画面（“セットされたデータの閲覧”選択時）	64
図 2.5.2-35	個別データ指定画面	65
図 2.5.2-36	データ表示画面	65
図 2.5.2-37	データ表示画面（拡大表示）	66
図 2.5.2-38	メインメニュー（データ検索表示選択時）	66
図 2.5.2-39	データ検索画面	67

表 目 次

表 2.2.3-1	論文記載内容をワークフローで読み取る際に得られた課題	11
表 2.2.3-2	ワークシート No.W1「計画立案」の記載事項	12
表 2.3.1-1	地球化学特性の階層構造	13
表 2.3.2-1	岩盤熱物性・力学特性の階層構造	17
表 2.5.2-1	地質分野の各ワークの対象データ	44
表 2.5.2-2	水理分野の各ワークの対象データ	45
表 2.5.2-3	各テーブルで管理するデータ	47

1 はじめに

サイトを特定しない第2次取りまとめにおいては、仮想的な地質環境に例示的な処分システムが構築され、これが所期の安全機能をすべて発揮することを前提に性能・安全評価を行ってきた。今後は、処分事業の進展に伴って、処分地（候補地等を含む）が持つ具体的な地質環境条件を適切に考慮した設計・シナリオに基づいて評価モデルおよびパラメータを設定し、安全評価を実施していくことが重要となる。地層処分の研究開発は、地質環境条件の調査（サイト特性調査）、処分技術（処分場の設計）、安全評価の3分野から成り立っている。しかし、各分野とも高度に専門的であることから、これら3つの分野の連携をいかに図るかが世界的にも課題となっている。そのため、各分野における試験データ取得、現象理解、シナリオ構築、モデル開発、解析・評価に至るまでの情報の流れを整理し、これらを有機的かつ階層的に統合した知識ベース（データベース）として体系化していくことが重要となる。

本研究では、平成13年度に「地質環境モデルの構築技術に関する研究」として、統合解析システムの開発に資するため、第2次取りまとめに向けて構築されてきた地質環境の調査技術ならびに地質環境モデルの構築技術を整理するとともに、今後建設が進められる深地層の研究施設への適用性も考慮した上で、これらを知識ベースとして体系化するための検討を実施した。検討に際しては、サイト特性調査手法の体系化と、地質構造モデル及び水理地質構造モデルの構築手法の体系化を行い、これらの調査手法とモデル化の関わりを整理した。また将来的に統合解析システムに取り込むための情報として追加評価モデルについて整理した。

今年度は、平成13年度の成果に基づいて、地質環境モデルの構築に関するワークフローの整理及び拡充を行った。さらに地質環境モデルの構築技術の体系化に基づいて、統合解析システムの地質環境分野のデータベース（知識ベース）機能を実現するための設計検討を行った。

2 地質環境モデルの構築技術に関する検討

2.1 ワークフロー全体の概括

地質環境に関して、モデル構築で利用する情報分野として以下の4分野を対象とした。

- ① 地形地質構造分野
- ② 水理分野
- ③ 地球化学分野
- ④ 岩盤熱・力学分野

これらの各分野の情報を元に構築するモデルの最終的なターゲットは地下水流動解析モデルや性能評価モデルである。現在の性能評価モデルは、地下水流動解析を行って核種移行に関する主要な流線を取り出し、その流線上で核種移行挙動を検討することにより構築される。このため本報告書では、モデル化の実質的なターゲットは地下水流動解析モデルとした。

上述の4項目の情報分野の内容及び地下水流動解析モデル構築の関係については、以下のように概括される。

(1) 地形地質構造分野

昨年度の報告書において地形地質構造分野のワークフローを検討し、最終的には地形モデル及び地質構造モデルを構築することで集約し整理できるとみなした。なお、地形モデルや地質構造モデルは、モデル化対象領域の種々のデータに対して地質との対比や3次元的位置関係を与える極めて基本的な情報を含んでいる。このため、地下水流動モデルの構築だけでなく、地球化学分野や岩盤熱・力学分野でも情報を整理する際に必ず引用される必要がある。

(2) 水理分野

昨年度の報告書において水理分野のワークフローを検討し、最終的には水理データの整理をこの分野のまとめとした。整理された水理データは地形モデル及び地質構造モデルなどと合わせて検討され、地下水流動解析モデルの構築のために利用される。

(3) 地球化学分野

地球化学分野のワークフローは今年度の検討課題である。地球化学分野の情報は、最終的には地球化学モデルを構築することで集約し整理できると考えられる。なお、この情報は、現在地下水流動解析モデルを構築するに際して明示的に扱われることはほとんど無いが、地下水流動解析結果との整合性の観点から、評価結果のフィードバックに際して利用される可能性がある。

(4) 岩盤熱・力学分野

岩盤熱・力学分野のワークフローは今年度の検討課題である。岩盤熱・力学分野の情報は、最終的には熱物性モデルや力学構造モデルを構築することで集約し整理できると考えられ、さらにこれらのモデルは主に施設等の設計に利用される。なお、設計に基づく施設の構造や物性値は、施設周辺を評価対象に含める地下水流動解析モデルを構築する際に参考情報として利用される。本報告書では施設の設計までは扱わないため、設計が地下水流動解析モデルに与える影響に関しては検討の対象外とした。

(5) 地下水流動解析モデルの構築

まず水理地質構造モデルを構築し、それに解析で必要とするデータを具体的に割り当てていくことで地下水流動解析モデルは構築される。構築された地下水流動解析モデルは評価計算に用いられるとともに、さらに性能評価などで活用される。

以上の状況をまとめ図 2.1-1に示す。各分野については、それぞれワークシートとワークフローを作成して具体化を図る。既に地形地質構造分野及び水理分野は昨年度ワークシートとワークフローを作成しており、今年度はその内容を改善する。地下水流動解析モデルの構築に関しては、昨年度水理地質構造モデルの構築まで検討を進めたが、今年度は、地下水流動解析モデルの構築までを対象範囲として内容の改善を図った。

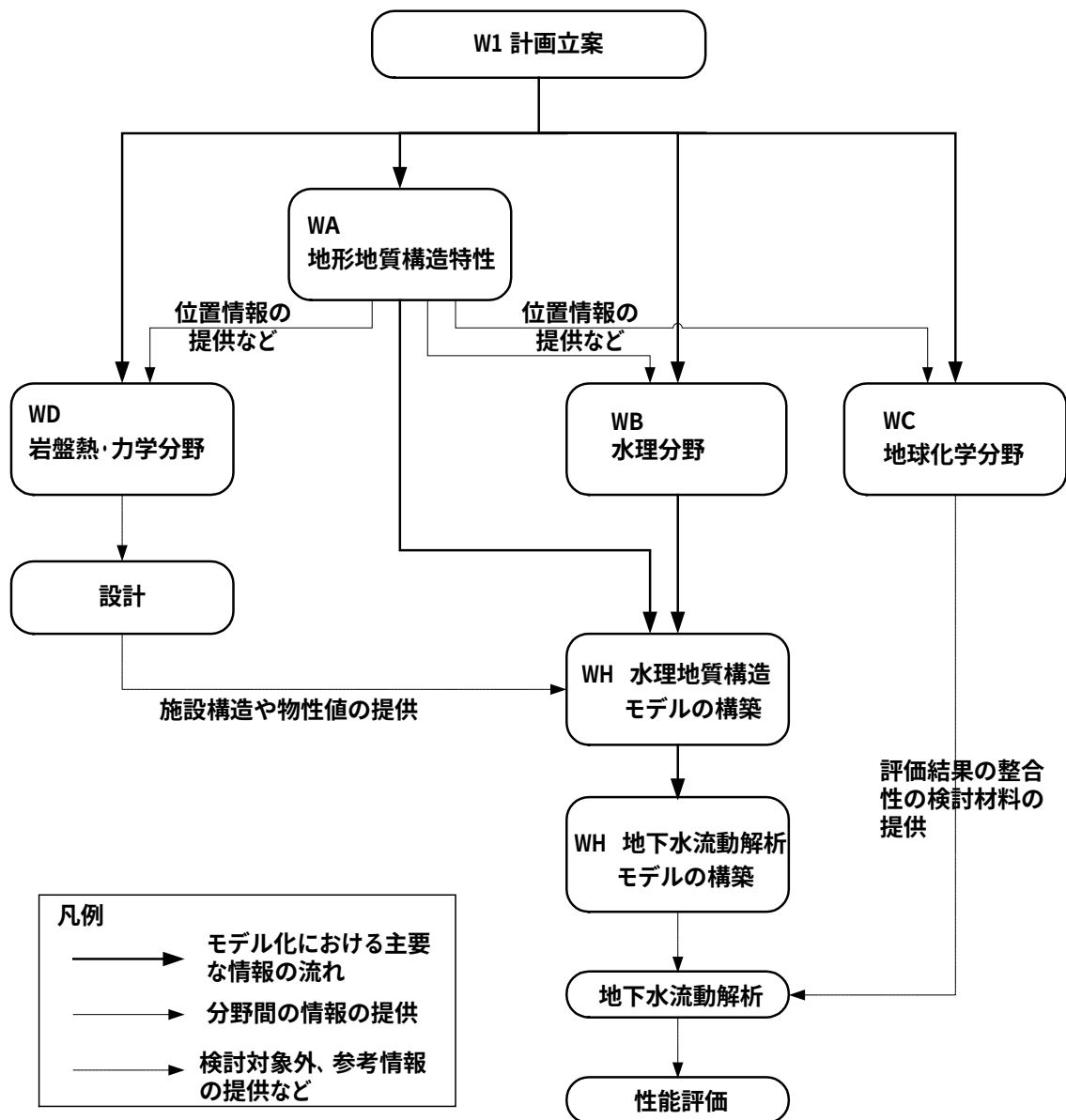


図 2.1-1 ワークフロー全体の概括

また、地球化学分野、岩盤熱・力学分野及び地下水流動解析モデルの構築に関しては、今年度ワークフローとワークシートを作成する。以上により、今年度地質環境モデルの構築技術に関する検討をまとめると次の2項目になる。

- ① 地質・地質構造分野及び地下水流動分野のワークフローの充実
- ② 地球化学分野及び岩盤熱物性・力学分野のワークフローの整理

ここで、それぞれの分野の内容をさらに具体化するにあたり、図中にも示したように作業の効率化のため各ワークの採番方針を以下のように整理した。

- ・ WA：地形地質構造分野
- ・ WB：水理分野
- ・ WC：地球化学分野
- ・ WD：岩盤熱・力学分野
- ・ WH：水理地質構造モデルの構築，地下水流動解析モデルの構築

各分野は、それぞれ上記の記号に基づきそれぞれ採番を行う。この採番により、将来

各分野ごとに内容の修正があったとしても、その変更は他の分野の採番に波及することが無く、効率よい作業が可能となる。

2.2 地質・地質構造分野及び地下水流動分野のワークフローの充実

地質・地質構造分野のワークフローに関しては、昨年度、国内外における地質環境モデリングのシステム及び適用事例の調査等を実施し、この成果を基にモデル構築に関するワークフロー原案を作成した。今年度は、地下水調査技術について、機器開発の現状や現場適用結果を述べた文献を参照することにより、作業内容、注意事項、品質管理などワークシートの記述の充実を図った。

地下水流動分野に関しては、昨年度は水理地質構造モデルの構築を最終的なモデル化の対象として扱った。今年度は、地下水流動計算を行うことを念頭に置き、地下水流動モデルの構築を最終的なモデル化の対象として扱うことでワークシートの見直しと拡充を図った。

さらに、既存の水理地質構造モデルの構築例(東濃地域の地下水流動の評価を行うための水理地質構造モデル及び東濃地域の水収支の評価を行うための水収支モデルの2事例)を記述した文献情報に基づいて、その内容をここで作成したワークフローに試験的に組み込む作業をケーススタディとして実施し、既に作成したワークフローの妥当性を検討した。

それぞれ以下のとおりである。

2.2.1 地質調査及び水理調査に関する検討

調査技術に関する論文情報として小出らの論文¹⁾を用い、調査技術に関する内容の充実を図った。本論文は、地質環境への影響の低減及び測定データの品質保証の観点から検討した地下深部を対象とする地下水調査技術について、機器開発の現状や現場適用結果を、核燃料サイクル開発機構が報告したものであり、対象とした岩盤は結晶質岩である。本論文の記載事項から、ワークを実行する際の注意事項が何件か得られており、これらを以下に示す。これらの注意事項は、昨年度作成した該当するワークシートの注意事項欄に加筆した。

① 断裂系調査

結晶質岩中の地下水の流動特性及び地球化学特性に影響を及ぼすと考えられる要素として、岩盤中の断層及び割れ目などの分布(位置、走向・傾斜、間隔、連続性など)と、それらの特性(構造、透水性、充填鉱物の種類など)の重要性が本論文では強調されている。この点は、調査データの解釈において注意すべき点として指摘される。

② 孔間トモグラフィー

水中での瞬間放電を利用した孔内震源(スパーカー震源、外径80mm)により結晶質岩地域で100m程度の孔間距離で検出された低速度帯が、透水性割れ目を含む岩盤中の破碎帯を反映しており、弾性波トモグラフィー調査が結晶質岩中の破碎帯や割れ目帯の分布把握に有効であるとされている。この点は、調査データの解釈において注意すべき点として指摘される。

③ 単孔式透水試験

結晶質岩盤の場合は岩盤健全部と割れ目帯で透水係数が大きく相違するため測定レンジの広い装置が必要である。また、数百m以深の高温高压下でも高精度なデータ取得が要求される。透水性データは測定方法に依存するが、これらの要求を満たすための装置開発もなされていることに留意する。なお、装置の一例として、JNCが開発した深度1,000mで測定可能な単孔式原位置透水試験装置²⁾が参照されている。

2.2.2 地下水流動分野のワークフローの検討

地下水流動分野のワークシートについては、昨年度、水理地質構造モデルの構築までのワークフローを検討した。このような流れで構築された水理地質構造モデルは、さら

に地下水流動解析で利用されることになるため、今年度は、水理地質構造モデルを反映させた地下水流動解析までを視野に入れてフローを見直し、次の3つのワークを具体化した。

① 地下水流動解析の方針の策定(WH1)

解析方針の策定に当たっては、計画立案(W1)に基づいて解析目的を確認した上で、地質構造の検討(WA2)における地形、地質及び割れ目特性に関するデータの整理結果、並びに水理データの検討(WB2)における地下水頭の分布、間隙水圧、比貯留係数、流向流速、湧水量透水係数及び水収支データの整理結果に基づいたワーク(WH1.1～WH1.8)を実施し、情報を次のワーク(WH2,WH3)に提供する。

② 水理地質構造モデルの構築(WH2)

解析方針の策定に当たっては、計画立案(W1)に基づいて解析目的を確認した上で、地質構造の検討(WA2)における地形、地質及び割れ目特性に関するデータの整理結果、並びに水理データの検討(WB2)における地下水頭の分布、間隙水圧、比貯留係数、流向流速、湧水量透水係数及び水収支データの整理結果に基づいたワーク(WH1.1～WH1.8)を実施し、情報を次のワーク(WH2,WH3)に提供する。

③ 地下水流動解析モデルの構築(WH3)

地下水流動解析モデルは、WH1における解析コードの選定、解析領域の決定及びメッシュ分割方針の策定結果に基づいて、WH2において作成した水理地質構造モデルと物性値等のデータを入力することにより構築する。

各ワークの内容は次のとおりである。

(2) 地下水流動解析の方針の策定(WH1)

本ワークの作業目的は、地下水流動解析の目的を確認し、地質構造及び水理データの検討結果に基づいて解析の方針を策定することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

- ① 解析目的の確認(WH1.1)
- ② 評価ポイントの整理(WH1.2)
- ③ 解析条件の整理(WH1.3)
- ④ 水理場の評価(WH1.4)
- ⑤ 水理地質区分の検討(WH1.5)
- ⑥ 解析コードの選定(WH1.6)
- ⑦ 解析領域の決定(WH1.7)
- ⑧ メッシュ分割方針の策定(WH1.8)

本ワーク“WH2 水理地質構造モデルの構築”におけるワークフローを図 2.2.2-1に示した。

(3) 水理地質構造モデルの構築(WH2)

本ワークの作業目的は、水理データの検討(WB2)、地質構造の検討(WA2)及び地質構造モデルの構築(WA3)に関する情報の整理結果に基づいて、WH1で定められた方針に従って地下水流動解析の解析領域内の水理地質構造モデル及び地下水流動解析に必要な諸パラメータを作成することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

- ① 水理地質構造モデルの作成(WH2.1)
- ② 割れ目データの作成(WH2.2)
- ③ 物性値データの作成(WH2.3)
- ④ 境界条件データの作成(WH2.4)
- ⑤ 初期条件データの作成(WH2.5)

本ワーク“WH2 水理地質構造モデルの構築”におけるワークフローを図 2.2.2-2エ

ラー! 参照元が見つかりません。に示した。

(4) 地下水流動解析モデルの構築(WH3)

本ワークの作業目的は、解析の方針に従って、水理地質構造モデルの構築の中で作成した物性データを用いて地下水流動解析モデルを作成することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

- ① メッシュ分割(WH3.1)
- ② 割れ目の入力(WH3.2)
- ③ 物性値の入力(WH3.3)
- ④ 境界条件の入力(WH3.4)
- ⑤ 初期条件の入力(WH3.5)

本ワーク”WH3 地下水流動解析モデルの構築”におけるワークフローを図 2.2.2-3 に示した。

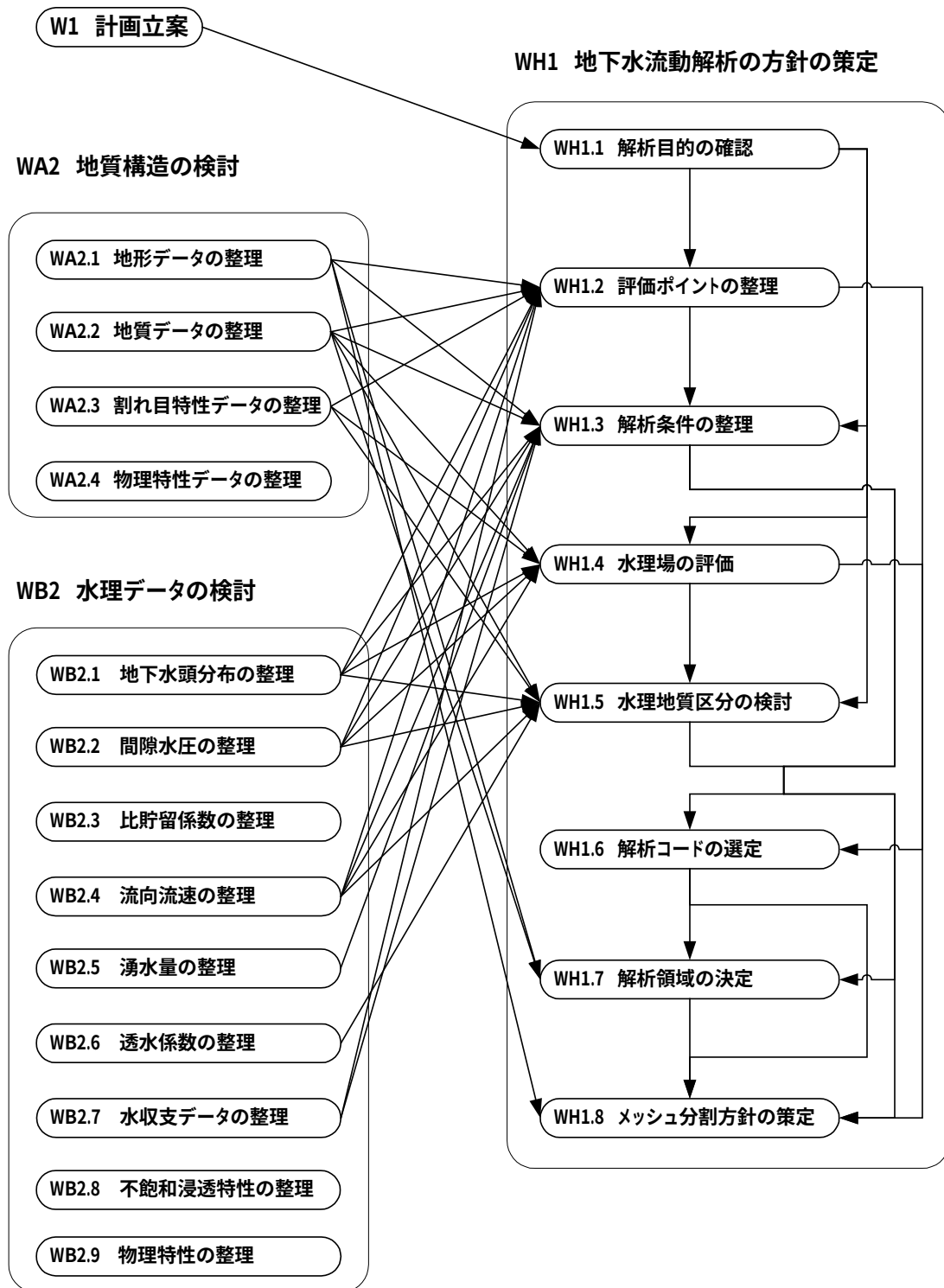
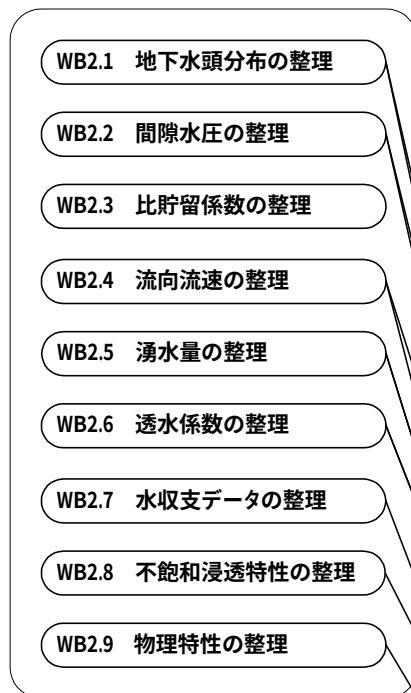
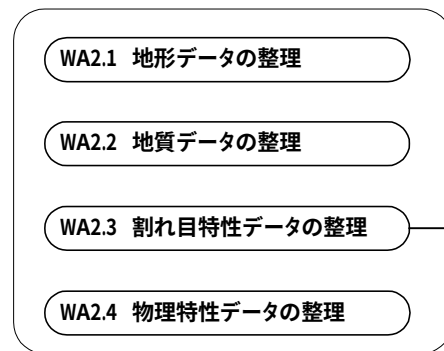


図 2.2.2-1 WH1「地下水流動解析の方針の策定」に着目したワークフロー

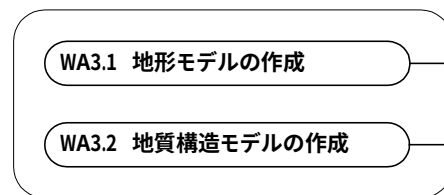
WB2 水理データの検討



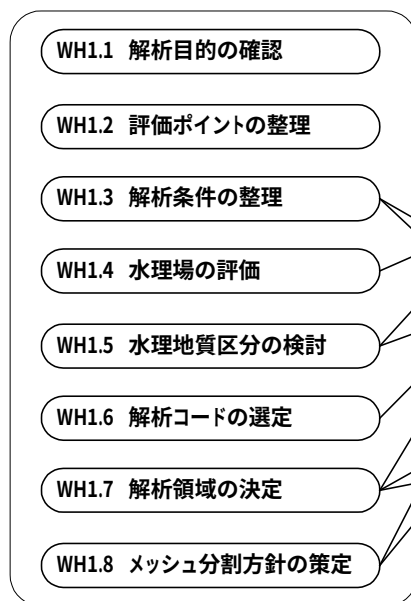
WA2 地質構造の検討



WA3 地質構造モデルの構築



WH1 地下水流動解析の方針の策定



WH2 水理地質構造モデルの構築

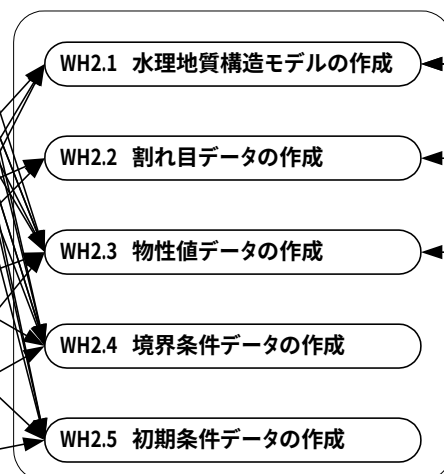
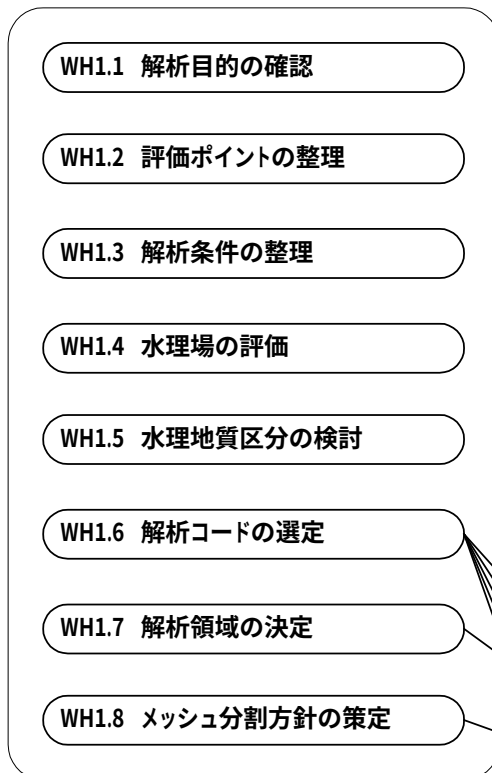
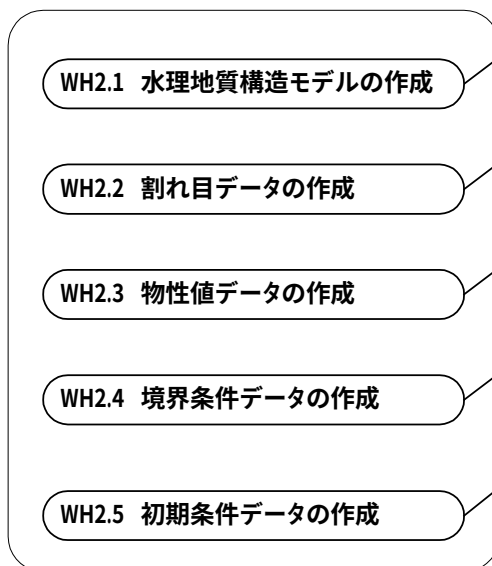


図 2.2.2-2 WH2「水理地質構造モデルの構築」に着目したワークフロー

WH1 地下水流動解析の方針の策定



WH2 水理地質構造モデルの構築



WH3 地下水流動解析モデルの構築

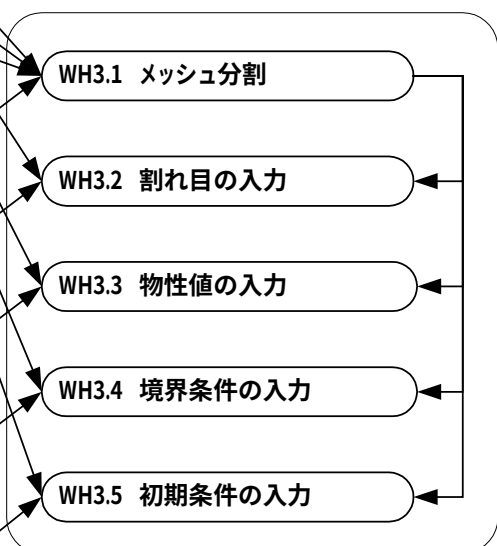


図 2.2.2-3 WH3「地下水流動モデルの構築」に着目したワークフロー

2.2.3 既存のモデル構築例に基づく検討

本項においては、既存のモデル構築例の文献を参照し、これを実際に統合化フローに沿って記述することにより、作成した統合化フローの実用性を確認するとともに、具体的なワークフローの記述の際に明らかとなる不備な点の抽出を図った。既存のモデル構築例は、次の2つの文献から参照した。

① 水理地質構造モデルの構築³⁾

三枝博光，前田勝彦，稲葉薫，「水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価」，地盤工学会，亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム，発表論文集別冊，pp.299-308（平成13年）

② 水収支の評価⁴⁾

三枝博光，前田勝彦，稲葉薫，「広域地下水流動研究実施領域における水収支観測結果と地下水流動スケールの検討」，サイクル機構技報，No.16，pp.137-147(2002)

①は東濃地域の地下水流動の評価を行うために水理地質構造をモデル化したものである。②は同じく東濃地域の水収支の評価を行うためのモデル化を行ったものである。両者はそれぞれ独立したワークであるが，ここでは同じワークフロー内で扱うこととした。ただし，水理地質構造モデルの構築が主たる検討対象であるため，②の水収支のモデル化は，水理地質構造モデルの構築の観点から検討した。

各論文はモデル化とモデルを用いた評価の結果について主に記述されている。このため，モデル化の部分については比較的詳細に読み取ることができるが，モデル化に利用した調査技術や調査データについては明瞭に読み取ることができないものもある。ここでは，実施されたことが論文より明瞭に読み取れるワークと論文より明瞭に読み取れなくても実施可能性があるワークをそれぞれ各論文から読み取ることとした。

論文記載内容とワークの対応を検討した結果，論文の記述内容は，全てワークフローの中で読み取ることができた。このため，現在作成されたワークフローは，少なくともモデル化の実務状況を反映できることが確認された。しかし，ワークフローの中で読み取るにあたりいくつかの課題の課題が指摘された。これを表 2.2.3-1に示す。主要な課題としては，統合システムへデータを保存する際の対象とする情報の質や量に関するものが挙げられる。

また，特に作業全体を統括するワークである“W1 計画立案”については，具体的な計画内容によって種々に異なってくることから，これまでワークシートの記述内容は具体化していなかった。ここで，モデル化の実例を検討したことによって，一般的な計画立案の記述方法について示唆を得ることができた。これを整理して，ワークシートとして取りまとめたものを表 2.2.3-2に示す。表に示すように，計画立案の構成内容は，目的及び作業方針であり，作業方針はさらに対象領域モデル化の対象領域，モデル化の手順及びシナリオから構成される。ここでシナリオとは，モデル化で用いる一連のワークの集団を意味する。

表 2.2.3-1 論文記載内容をワークフローで読み取る際に得られた課題

ワーク	論文中での実施／実施可能性
W1 計画立案	具体化を図った。内容は表 2.2.3-2に記載。
WA1.1.1 航空写真解析	保存すべき情報のレベルの検討を要する。調査されたりニアメントの評価結果は統合システムに取り込まれるべきであり、写真そのものを保存する必要はないと考えられる。
WA1.1.2 衛星画像解析	同上
WA1.2.1 標高調査	調査結果そのものは膨大な情報量になることが予想され、保存すべき情報の質と量の検討を要する。
WA1.3.3 断裂系調査	特になし。
WA1.5.1 コア観察	単に柱状図を記載するだけではなく、考察内容も残すことが望ましい。
WA1.5.2 孔壁観察	保存すべき情報のレベルの検討を要する。調査された孔壁状況図は統合システムに取り込まれるべきであり、BTV 計測結果そのものを保存する必要はないと考えられる。
WA1.5.3 物理検層	特になし。
WA1.6 坑道調査	保存すべき情報のレベルの検討を要する。
WA2.1 地形データの整理	本論文情報の場合、WA1.2.1 と等価な情報になる可能性が大きい。
WA2.2 地質データの整理	このワークには多くの情報が盛り込まれる可能性が高い。要点を絞って登録することが重要である。
WA3.1 地形モデルの作成	本論文情報の場合、WA1.2.1 もしくは WA2.1 と等価な情報になる可能性が大きい。
WA3.2 地質構造モデルの作成	保存すべき情報のレベルの検討を要する。可能であれば3次元地質構造モデルを全て取り込むことが望ましいが、情報量が膨大になる可能性がある。
WB1.1 地下水位調査	特になし。
WB1.2.3 坑道湧水調査	調査結果そのものは膨大な情報量になることが予想され、保存すべき情報は評価で用いた情報のみに限定するなど、質と量の検討を要する。
WB1.3 間隙水圧調査	同上
WB1.5.1 単孔式透水試験	特になし。
WB1.6 物理試験	特になし。
WB1.7.1 気象観測	調査結果そのものは膨大な情報量になることが予想され、保存すべき情報は評価で用いた情報のみに限定するなど、質と量の検討を要する。
WB1.7.3 河川流量測定	同上
WB2.1 地下水頭分布の整理	特になし。
WB2.2 間隙水圧の整理	特になし。
WB2.5 湧水量の整理	特になし。
WB2.6 透水係数の整理	特になし。
WB2.7 水収支データの整理	特になし。
WB2.9 物理特性の整理	特になし。
WH1.1 解析目的の確認	モデル化の目的の再確認に相当し、必要なワークと考えられる。
WH1.2 評価ポイントの整理	特になし。
WH1.3 解析条件の整理	特になし。
WH1.5 水理地質区分の検討	特になし。
WH1.6 解析コードの選定	特になし。
WH1.7 解析領域の決定	特になし。
WH1.8 メッシュ分割方針の策定	特になし。
WH2.1 水理地質構造モデルの作成	特になし。
WH2.3 物性値データの作成	特になし。
WH2.4 境界条件データの作成	特になし。
WH2.5 初期条件データの作成	特になし。

表 2.2.3-2 ワークシート No.W1「計画立案」の記載事項

番 号	W1	
ワーク名	計画立案	
作業目的	モデル構築作業の計画立案	
作業内容	モデル構築作業の計画について記述する。 記述内容が、モデル化の目的や対象によって異なることは構わない。なお、次の項目に沿って記述することで必要事項を網羅できる場合が多い。 1. 目的 モデル化作業の背景（過去の指摘、解決すべき課題、等）、及びモデル化作業の目的（解決すべき課題への対応策）を簡潔に記述する。 2. 作業方針 2.1 対象領域 モデル化の対象領域（位置、境界線、地形、等）を記述する。 2.2 モデル化の手順 モデル化を行う際の、想定される手順を記述する。以下のように、モデル化の対象ごとに支配要因と調査項目を記述する。 (1)モデル化の対象（地質構造、水理地質構造、等） 1)考慮すべき支配要因の選択 地質構造、地形の起伏、断層・破碎帯の扱い、境界における水収支、など対象領域をモデル化する際の扱いにおいて特に注意して考慮すべき要因を列挙する。 2.3 シナリオ 利用する主要な調査項目（ワーク）を列挙する。ここで、必要なワークは各分野それぞれ WA1, WB1, WC1 及び WD1 に示される一次データの準備のワークである。これらが選定されれば、以降のワークは必然的に制限される。	
注意事項	本シートでは、主にモデル化作業の大筋について記述を行う。（調査などの実施項目は多岐にわたるため、計画の詳細を全て記述すると量的に膨大になることが予想される。これらは本シートの添付情報とする、もしくは各ワークシートにおいて簡潔に記載することで記録を残す。	
品質管理		
作業に必要なワーク	番 号	受取りデータ
結果を利用するワーク	番 号	受け渡しデータ
	WA1	調査計画
	WB1	調査計画
下位ワーク	特になし	

2.3 地球化学分野及び岩盤熱物性・力学分野のワークフローの整理

本節においては、地質環境モデルの構築技術の体系化を実施するに当たって必要となる、5つのワークフローのうち、本年度、ワークシート及びワークフローの具体化を実施する

WC：地球化学調査及び地球化学モデルの構築

WD：岩盤熱物性・力学物性調査及び岩盤熱物性・力学モデルの構築

の2つを対象として、モデル構築に関するワークフローを構築した。これらのワークフローの構築に当たっては、昨年度実施した調査技術と取得データの階層構造の分類を見直して、関連データの相関関係を整理してワークフローとの整合性を確認した。

2.3.1 地球化学分野

(1) 地球化学特性の階層構造

地球化学分野の調査は、地球化学特性の観点から水質の調査及び岩石の調査に大別される。これらの特性及び調査技術を階層構造に分類し、それぞれの取得データを整理した結果を、ワークフローとの対応とともに表 2.3.1-1に示した。

表 2.3.1-1 地球化学特性の階層構造

第一次階層	第二次階層 (調査技術名)	第三次階層		取得データ
WC1 地球化学特性	WC1.1 水質調査	WC1.1.1 化学成分調査	pH、Eh測定等	pH、Eh、温度等データ
			主要成分分析	Na、Mg、K、Ca等陽イオン成分、Cl、S04等陰イオン成分、等
			微量成分分析	U等
		WC1.1.2 溶存ガス調査	ガス分析	N2、O2等
		WC1.1.3 同位体調査	同位体分析	H-3、O-18分析データ等
		WC1.1.4 影響要因調査	微生物分析	コロイド、有機物、微生物等含有量
	WC1.2 岩石調査	WC1.2.1 化学組成調査	主要成分分析	Na、Si、Al等
			微量成分分析	U、Th等
		WC1.2.2 鉱物組成調査	主要鉱物分析	石英、長石類等
			微量鉱物分析	粘土鉱物、等
		WC1.2.3 岩石-水相互作用調査	化学反応分析、物質移行分析	陽イオン交換容量、溶出成分、溶解度、分配係数等
		WC1.2.4 同位体調査	同位体分析、フィッシュントラック法分析等	K-Ar、C-14分析データ等

(2) 地球化学分野のワークフローの検討

ここでは、昨年度実施した、調査技術と取得データの階層構造の整合性を確認したうえで、地球化学分野に関するワークフローを構築し、次の各ワークを具体化した。

① 地球化学特性調査(WC1)

地球化学特性調査では、水質調査(化学成分調査、溶存ガス調査、同位体調査及び影響要因調査)及び岩石調査(化学組成調査、鉱物組成調査、岩石-水反応調査及び同位体調査)を実施して、次のワークに情報を引渡す。

② 地球化学特性の検討(WC2)

地球化学特性の検討では、地形データの整理(WA2.1)及び地質データの整理(WA2.2)の結果を考慮した上で、水質調査(WC1)の結果に基づいて水質データの整理を、岩石調査の結果に基づいて岩石データの整理を実施する。これらの検討結果は、次のワークに情報として引渡す。

③ 地球化学モデルの作成(WC3)

地球化学モデルは、地質構造モデルの作成(WA3.2)結果を考慮した上で、水質データ及び岩石データの整理結果に基づいて作成する。

最上位のワークフローを図 2.3.1-2エラー! 参照元が見つかりません。に示すとともに、フローに示された各ワークの具体的な実施内容を以下に示す。

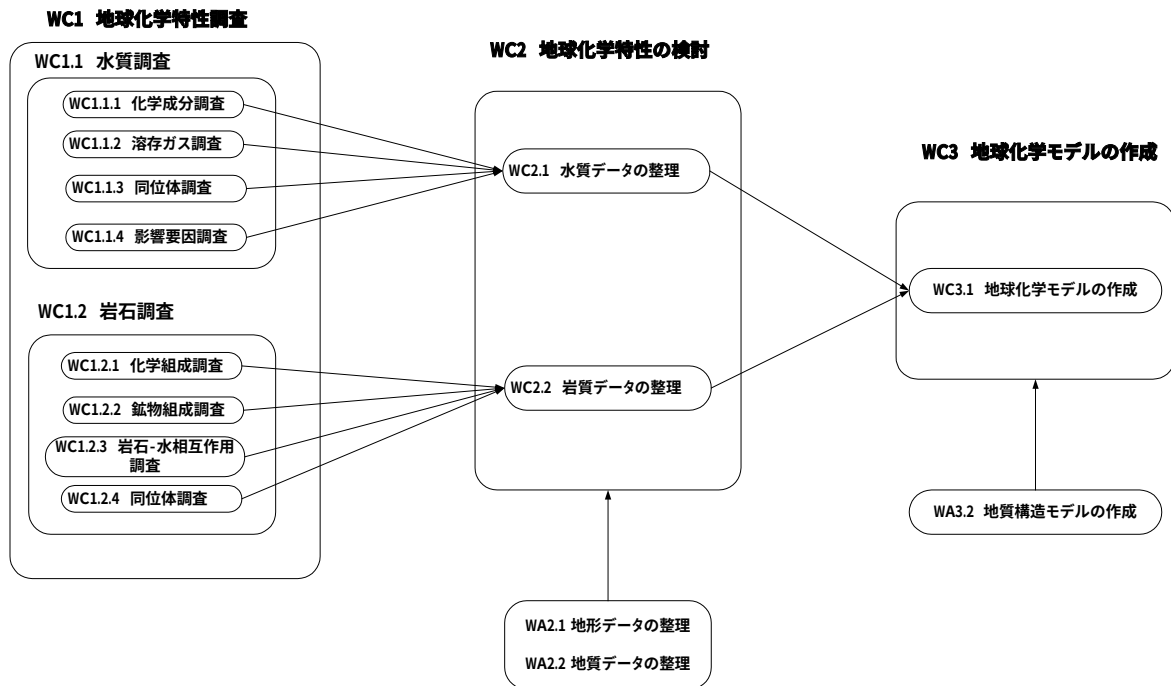


図 2.3.1-2 地球化学特性のモデル構築フロー（レベル 1）

(i) 地球化学特性調査(WC1)

本ワークの目的は、岩石－水相互作用、物質移行、水質形成機構等、地球化学特性の把握に必要な水質や岩石の分析を実施することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

① 水質調査(WC1.1)

水質調査においては、対象地域の採水試料の水質を分析し対象地域の水質組成、水質形成要因を把握する。水質調査は、以下の下位ワークで構成されている。

- 化学成分調査(WC1.1.1)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の地下水及び河川水の試料の化学成分（pH, Eh, 温度, 主要成分, 微量成分）の分析を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
 - 溶存成分一覧
 - ヘキサダイアグラム
 - トリリニアダイアグラム（キーダイアグラム）
 - 深度別化学組成：標高－化学成分値の相関分布
- 溶存ガス調査(WC1.1.2)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の地下水の試料のガス分析（存在比, 存在量）を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
 - ガス分析結果一覧
 - ガス組成図
 - R_{gass} 組成図
 - He/Ar－N₂/Ar 相関図
- 同位体調査(WC1.1.3)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の地下水・河川水と地下水に含まれる溶存ガスの同位体（放射性同位体：地下水年代, 安定同位体：存在環境）の分析を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
 - 同位体分析結果一覧
 - δD－δ¹⁸O ダイアグラム
 - δD－Cl ダイアグラム
 - ³He/4He－4He/20Ne 相関図
- 影響要因調査(WC1.1.4)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の地下水の微生物，コロイド，有機物の分析を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
 - 微生物分析結果一覧

なお，深掘りボーリング用採水装置の開発については，JNC が既に 500m 及び 1,000m 対応の機器を開発済みである。

② 岩石調査 (WC1.2)

岩石調査においては，対象地域の岩石試料を分析し，対象地域の化学組成，同位体比等，岩石の化学特性を把握する。本ワークは，さらに次の下位ワークで構成される。

- 化学組成調査(WC1.2.1)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の岩石試料の化学成分（Na, Si, Al 等の主要成分, U, Th 等の微量成分）の分析を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
 - 化学成分一覧
 - ハーカー組成図
 - M F A 組成図
 - SiO₂－FeO/MgO 図
 - FeO－FeO/MgO 図
 - R E E 規格化図
- 鉱物組成調査(WC1.2.2)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の岩石試料の鉱物組成（石英，長石類等の主要鉱物，粘土鉱物，不透明鉱物等の微量鉱物）の分析を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
 - 鉱物組成一覧
 - 鉱物組成ダイアグラム
- 岩石-水相互作用調査(WC1.2.3)：立案された計画（W1）に基づき，対象地域の地下水と岩石の化学反応（陽イオン交換容量，溶出成分等），物質移行に関する化学分析（溶解度，分配係数等）を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。

- 分析結果一覧
- 同位体調査(WC1.2.4)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の岩石の同位体分析（放射性同位体），フィッシュトラック法の分析を実施する。プロダクトを構成するデータは、以下のとおりである。
 - 分析結果一覧

(ii) 地球化学特性の検討(WC2)

本ワークの目的は、水質及び岩質に関する個々のデータを総合的に整理し、3次元の分布図を作成することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

① 水質データの整理(WC2.1)

水質データの整理においては、水質に関する各種調査（WC1.1.1～WC1.1.4）のプロダクトとしてのデータ一覧、各種グラフを整理し、成因・年代の観点から水質をタイプ分けする。これに、地形・地質平面データあるいはボーリング断面データ（WA2.1及びWA2.2の一部）を結合し、3次元の水質分布図を作成する。プロダクトを構成するデータは、以下のとおりである。

- 3次元水質分布図：水質・溶存ガス・同位体比ダイアグラム（WC1.1.1～WC1.1.4による）、地形データ（WA2.1による）、地質データ（WA2.2による）

② 岩質データの整理(WC2.2)

岩質に関する各種調査（WC1.2.1～WC1.2.4）のプロダクトとしてのデータ一覧、各種グラフを整理し、成因・年代の観点から岩質をタイプ分けする。これに、地形・地質平面データあるいはボーリング断面データ（WA2.1及びWA2.2の一部）を結合し、3次元の岩石化学特性分布図を作成する。プロダクトを構成するデータは、以下のとおりである。

- 3次元岩石化学特性分布図：各種岩質・鉱物性組成図（WC1.2.1～WC1.2.4による）、地形データ（WA2.1による）、地質データ（WA2.2による）

(iii) 地球化学モデルの作成(WC3)

本ワークの目的は、WC2の成果として提供される3次元の水質分布図及び岩石化学特性分布図に、WA3.2の成果である地質構造モデルを結合し、地球化学データの3次元分布図を作成することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

① 地球化学モデルの作成(WC3.1)

3次元の水質分布図（WC2.1による）及び岩石化学特性分布図（WC2.2による）に、地質構造モデル（WA3.2）を結合し、3次元の地球化学データ分布図を作成する。また、3次元の地球化学データ分布図を元にして種々のモデルを作成する。作成する地球化学モデルとしては、次の各項目が例示される。

- 水質形成機構モデル：多変量解析や主成分解析などを通じて、水質を形成している主要なメカニズムを表すモデル。メカニズムとしては、たとえば陸水／海水混合、停滞場における岩石－水反応などが挙げられる。
- 岩石－水反応モデル：対象地域における岩石と水の反応メカニズムを表すモデル。一般に地中の水分は比較的移動速度が遅く、平衡論により説明できる場合がある。
- 地球化学的水理モデル：地下水流動解析結果と対比することにより、水の流れと物質移動の状況をモデル化する。岩石－水反応の寄与が比較的乏しい水素や酸素の同位体分析による年代測定結果や塩素濃度の分布などが地球化学データと地下水流動解析結果の対比に用いられる。沿岸地域における塩淡水境界の評価のように大局的な評価に用いられる場合や、酸化還元電位の分布による地質的風化帯の評価のように局所的な評価に用いられる場合などがあり得る。

プロダクトを構成するデータ（インデックス）は、以下のとおりである。

- 3次元地球化学データ分布図：水質分布図（WC2.1による）、岩石化学特性分布図（WC2.2による）、地質構造モデル（WA3.2）
- 地球化学モデル：種々の地球化学モデル

2.3.2 岩盤熱物性・力学分野

(1) 岩盤熱物性・力学特性の階層構造

岩盤熱物性・力学分野の調査は、岩盤熱物性・力学物性の観点から熱物性の調査、力学物性の調査、及び基礎物性の調査に大別される。これらの特性及び調査技術を階層構造に分類し、それぞれの取得データを整理して表 2.3.2-1に示した。

表 2.3.2-1 岩盤熱物性・力学特性の階層構造

第一次階層	第二次階層 (調査技術名)	第三次階層		取得データ
WD1 岩盤熱物性・力学物性	WD1.1 基本物性調査	WD1.1.1 基本物性調査	各種測定	密度（飽和、自然、乾燥）、間隙率、含水率等
	WD1.2 熱物性調査	WD1.2.1 熱伝導率調査	熱伝導率測定	熱伝導率
		WD1.2.2 比熱調査	比熱測定	比熱
		WD1.2.3 線膨張係数調査	線膨張係数測定	線膨張係数
	WD1.3 力学物性調査	WD1.3.1 圧縮強度調査	一軸圧縮強度	一軸圧縮強度
			三軸圧縮強度	せん断強度、内部摩擦角
		WD1.3.2 引張強度調査	引張強度測定	引張強度
		WD1.3.3 弾性係数調査	弾性係数測定	弾性係数
		WD1.3.4 地山強度比調査	地山強度比測定（初期地圧測定：オーバーコアリング法、水圧破砕法）	三次元主応力（方向、大きさ）

(2) 岩盤熱物性・力学分野のワークフローの検討

ここでは、昨年度実施した、調査技術と取得データの階層構造の整合性を確認したうえで、岩盤熱物性・力学分野に関するワークフローを構築し、次の各ワークを具体化した。

① 岩盤熱物性・力学物性調査(WD1)

岩盤熱物性・力学物性調査では、基本物性調査、熱物性調査(熱伝導率調査、比熱調査及び線膨張係数調査)及び力学物性調査(圧縮強度調査、引張強度調査、弾性係数調査及び地山強度比調査)を実施して、次のワークに情報を引渡す。

② 岩盤熱物性・力学物性の検討(WD2)

岩盤熱物性・力学物性の検討では、地形データの整理（WA2.1）及び地質データの整理（WA2.2）の結果を考慮した上で、岩盤熱物性・力学物性調査の結果に基づいて基本物性、熱物性及び力学物性の各データを整理し、次のワークに引渡す。

③ 岩盤熱物性・力学物性モデルの作成(WD3)

岩盤熱物性・力学物性モデルは、地質構造モデルの作成(WA3.2)結果を考慮した上で、基本物性、熱物性及び力学物性の各データの整理結果に基づいて作成する。

また、最上位のワークフローを図 2.3.2-2エラー! 参照元が見つかりません。に示すとともに、フローに示された各ワークの具体的な実施内容を以下に示す。

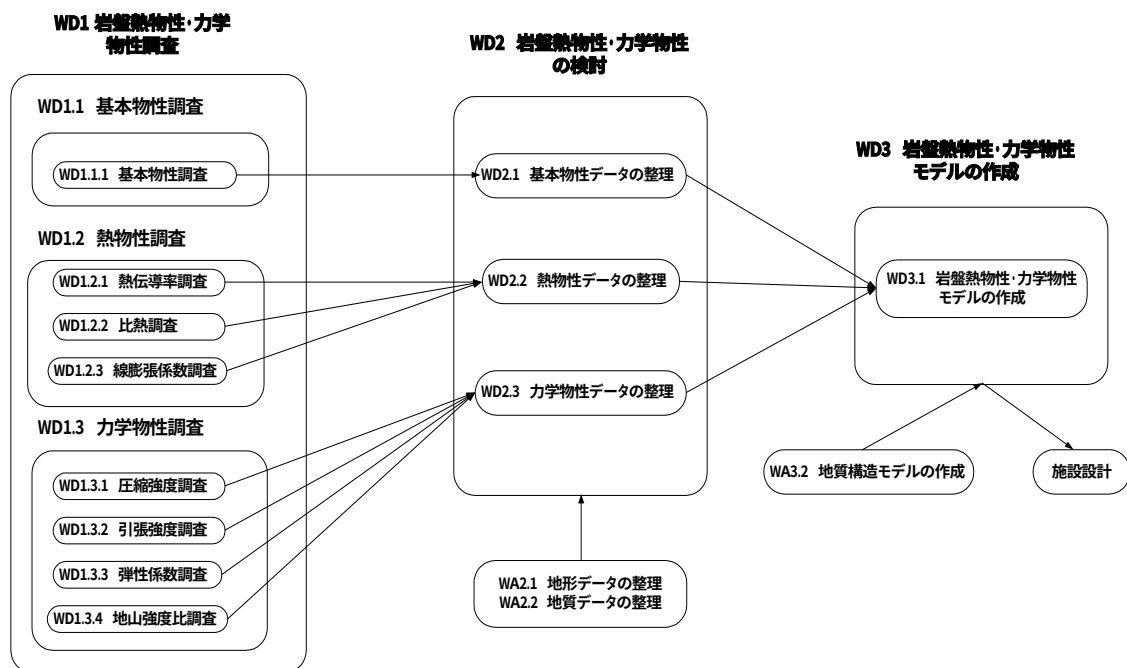


図 2.3.2-2 岩盤熱物性・力学物性のモデル構築フロー（レベル 1）

(ii) 岩盤熱物性・力学物性調査(WD1)

本ワークの目的は、岩盤熱物性・力学特性の把握に必要な地盤・岩盤の試験を実施することである。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

① 基本物性調査(WD1.1)

本ワークでは、対象地域の地盤・岩盤の基本物性の把握を目的として、対象地域の露頭、ボーリングにより得られる岩芯（コア）、坑道から採取される岩石試料を用いた基本物性試験を実施する。本ワークは、以下の下位ワークで構成されている。

- 基本物性調査（WD1.1.1）：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩盤・岩石試料の基本物性密度（湿潤，自然，乾燥状態）比重，粒度，空隙率，含水率，含水比，単位体積重量等の測定を実施する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。

- データ測定結果一覧

② 熱物性調査(WD1.2)

本ワークでは、対象地域の地盤・岩盤の熱物性の把握を目的として、対象地域の露頭、ボーリングにより得られる岩芯（コア）、坑道から採取される岩石試料を用いた熱物性試験を実施する。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

- 熱伝導率調査(WD1.2.1)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料の熱伝導率を測定する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
- データ測定結果一覧
- 比熱調査(WD1.2.2)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料の比熱を測定する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
- データ測定結果一覧
- 線膨張係数調査(WD1.2.3)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料の線膨張係数を測定する。プロダクトを構成するデータは，以下のとおりである。
- データ測定結果一覧

③ 力学的物性調査(WD1.3)

本ワークでは、対象地域の地盤・岩盤の力学物性の把握を目的として、対象地域の露頭、ボーリングにより得られる岩芯（コア）、坑道から採取される岩石試料と、それぞれの原位置計測を用いた力学物性試験を実施する。本ワークは、さらに次の各下位ワークで構成される。

- 圧縮強度調査(WD1.3.1)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料及び原位置の圧縮強度（一軸圧縮強度、剪断強度、内部摩擦角等）を測定する。室内試験として一軸圧縮試験及び三軸圧縮試験、坑道を利用した原位置試験として点載荷試験、シュミットハンマー試験（一軸圧縮強度の代用）、原位置剪断試験（剪断強度）及び岩盤三軸圧縮試験（剪断強度）が考えられる。プロダクトを構成するデータ（インデックス）は、以下のとおりである。
 - データ測定結果一覧
- 引張強度調査(WD1.3.2)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料及び原位置の引張強度を測定する。室内試験として引張試験、坑道を利用した原位置試験として点載荷試験（引張試験の迅速試験として代用）が考えられる。プロダクトを構成するデータは、以下のとおりである。
 - データ測定結果一覧
- 弾性係数調査(WD1.3.3)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料及び原位置の弾性係数を測定する。室内試験として剪断試験、坑道を利用した原位置試験として平板載荷試験、シュミットハンマー試験（代用）、岩盤三軸圧縮試験（弾性係数）が考えられる。プロダクトを構成するデータは、以下のとおりである。
 - データ測定結果一覧
- 地山強度比調査(WD1.3.4)：立案された計画（W1）に基づき、対象地域の地盤・岩石試料及び原位置の地山強度比を調査する。地山強度比は（一軸圧縮強度）÷（地山単位体積重量×土被り厚さ）と定義される。割れ目が無視できない場合には一軸圧縮強度に加えて弾性波速度を考慮する必要がある。ここでは、地下空洞の施行、安定性の観点から、地山強度比に加えて、初期地圧測定（オーバーコアリング法及び水圧破碎法等による三次元主応力分布）も考慮することとする。プロダクトを構成するデータ（インデックス）は、以下のとおりである。
 - データ測定結果一覧

(iii) 岩盤熱物性・力学物性の検討(WD2)

本ワークでは、基本物性に関するデータを整理し、3次元の基本物性分布図を作成することを目的とする。本ワークは、さらに次の下位ワークで構成される。

① 基本物性データの整理(WD2.1)

岩石の基本物性データ一覧を整理し、これに地形・地質平面データあるいはボーリング断面データ（WA2.1 及び WA2.2）を結合し、3次元の基本物性分布図を作成する。プロダクトを構成するデータ（インデックス）は、以下のとおりである。

- 3次元基本物性分布図：基本物性データ一覧(WD1.1.1)、地形データ(WA2.1 による)、地質データ（WA2.2 による）

② 熱物性データの整理(WD2.2)

岩石の熱物性に関する各種調査（WD1.2.1～WD1.2.3）のプロダクトとしてのデータ一覧を整理する。これに地形・地質平面データあるいはボーリング断面データ（WA2.1 及び WA2.2）を結合し、3次元の熱物性分布図を作成する。プロダクトを構成するデータは、以下のとおりである。

- 3次元熱物性分布図：熱物性各種データ一覧（WD1.2.1～WD1.2.3 に

よる), 地形データ (WA2.1 による), 地質データ (WA2.2 による)
③ 力学物性データの整理(WD2.3)

岩石の力学物性に関する各種調査 (WD1.3.1~WD1.3.4) のプロダクトとしてのデータ一覧を整理する。これに地形・地質平面データあるいはボーリング断面データ (WA2.1 及び WA2.2) を結合し, 3 次元の熱物性分布図を作成する。プロダクトを構成するデータは, 以下のとおりである。

- 3 次元力学物性分布図: 力学物性各種データ一覧 (WD1.3.1~WD1.3.4 による), 地形データ (WA2.1 による), 地質データ (WA2.2 による)

(iv) 岩盤熱物性・力学物性モデルの作成(WD3)

本ワークの目的は, 3 次元の基本物性分布図, 熱物性分布図及び力学物性分布図に, 地質構造モデルを結合し, 岩盤熱物性・力学物性データの 3 次元分布図を作成することである。本ワークは, さらに次の下位ワークで構成される。

① 岩盤熱物性・力学物性モデルの作成(WD3.1)

3 次元の基本物性分布図 (WD2.1 による), 熱物性分布図 (WD2.2 による) 及び力学物性分布図 (WD2.3 による) に, 地質構造モデル (WA3.2) を結合し, 3 次元の岩盤熱物性・力学物性データ分布図を作成する。さらに岩盤熱物性データ分布図を元にして, 岩盤の熱解析モデルを構築する。また, 岩盤力学物性データ分布図を元にして, 岩盤の力学構造解析モデルを構築する。熱解析モデルは, 固体のみによる熱伝達を扱う熱伝達モデルと, これに合わせて熱に伴う液体の対流を扱う熱対流モデルに分けられる。熱源としては地熱などの天然事象によるものと, 発熱性廃棄体などの人工構造物によるものがある。力学構造解析モデルは, 地下における空洞安定性の評価に用いられる。特に空洞の掘削面近傍は緩み域が発生している可能性があり, この規模と緩み状況は処分場近傍の水理状況にも影響する可能性がある。プロダクトを構成するデータ (インデックス) は, 以下のとおりである。

- 3 次元岩盤熱物性・力学物性データ分布図: 基本物性分布図 (WD2.1 による), 熱物性分布図 (WD2.2 による), 力学物性分布図 (WD2.3 による), 地質構造モデル (WA3.2)
- 熱解析モデル, 力学構造解析モデル: 種々のモデル

2.4 ワークフロー及びワークシート

2.1~2.3 節で記述した各分野を俯瞰する全体的なワークフローを図 2.4-1 に示す。

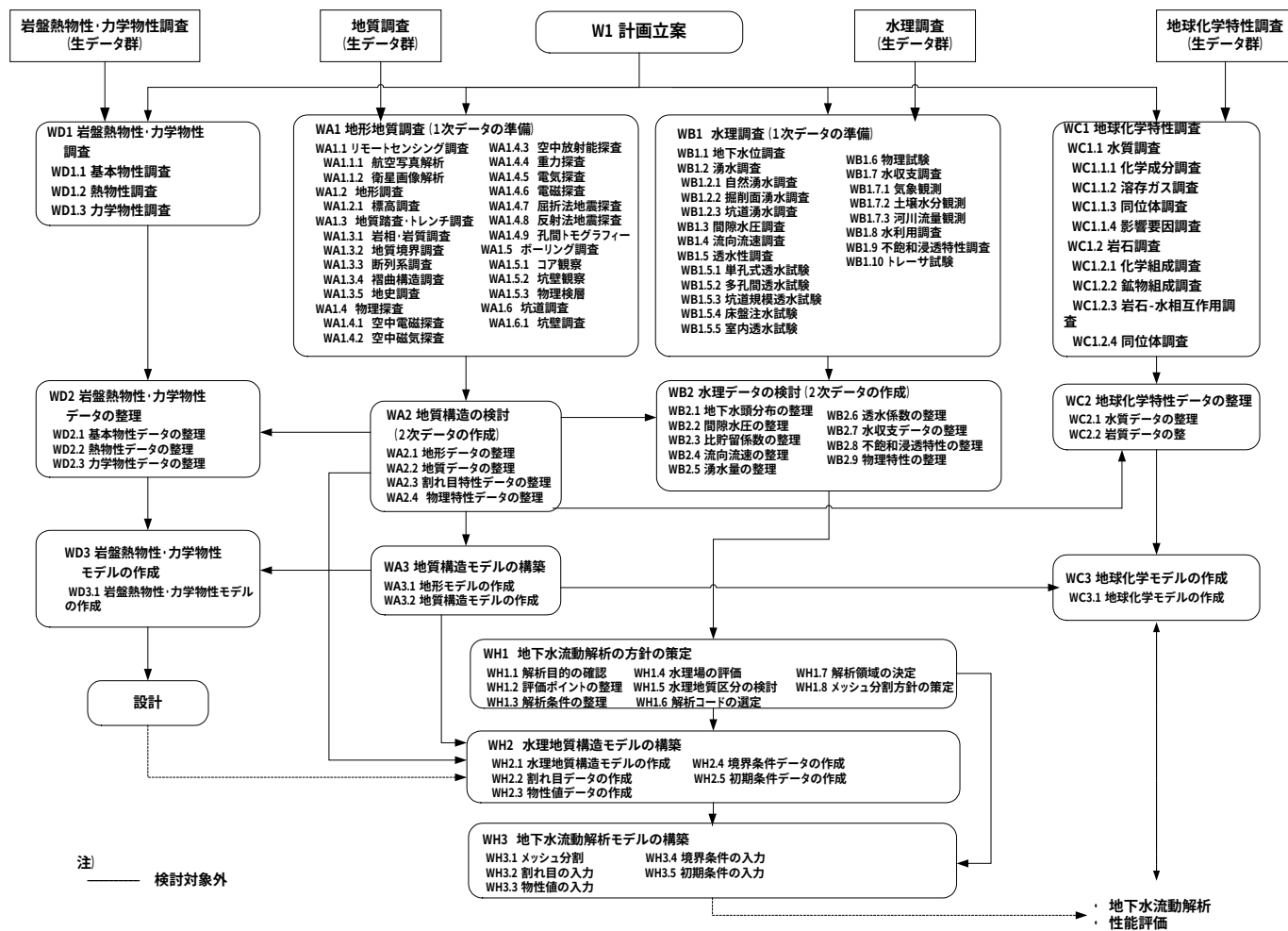


図 2.4-1 ワークフロー（全体）

2.5 地質環境データベースの設計検討

本節では、昨年度及び今年度実施した地質環境モデルの構築に関するワークフローの整理及び見直しの検討結果を基にして統合解析システムの地質環境分野のデータベース・システム（以下地質環境データベース）を構築するための設計検討を行った。

最初に地質環境データベースの基本機能、及びデータベース構造の設計検討を行った。次に検討結果の妥当性確認を行うためのプロトタイプを試作し、三枝論文に基くワークフローを適用してシステム構築における問題点を検討した。

各項目について、以下それぞれ報告する。

2.5.1 地質環境データベースの設計検討

本項では、地質環境データベースの基本機能、及びデータベース構造に関する設計検討を行った。

地質環境データベース・システムは、データ管理を担当するデータベース、及びデータ処理を担当するアプリケーション部分に分けられる。地質環境データベースの基本機能の検討では、地質環境データベースの基本要件を基にして、データ処理を行うアプリケーション、及びデータ管理を担当するデータベースの基本的な機能について検討を行った。

次に地質環境データベースの具体的なデータベース構造を、地質環境モデルの構築の情報処理の流れの体系化結果を基にして検討した。

(1) データベース基本機能の検討

最初に昨年度の地質環境データベースの設計検討の結果をまとめ、今年度の設計検討の範囲を検討した。次に地質環境データベースの基本機能の検討を行った。最後に地質環境データベースのデータ処理を行うアプリケーションの具体的な検討を行い、詳細機能の検討を行った。

(i) H13 年度の検討結果

昨年度の統合解析システムの地質環境分野のデータベースの設計検討では、データベースの目的、及び基本要件から基本機能が検討された。

昨年度はこれらの基本機能を満たすデータベースの論理構造を検討した。さらに地質環境データベース・システム開発に必要な技術的課題についても検討した。

今年度は、昨年度の検討結果であるシステムの基本機能に基いて設計検討を行った。地質環境データベースのシステムの基本機能、及び詳細機能を検討した。

システムの基本機能とは、計画立案機能などシステム全般に関わる機能を意味している。システムの詳細機能とは、システム基本機能に基いてプロトタイプを作成する場合を想定しており、プロトタイプシステムの持つ具体的な機能を意味している。

一般的にソフトウェア開発のライフサイクルはウォーターフローモデルで図2.5.1-1のように表わされる。本研究ではソフトウェア開発を効率良く行うため、及び、設計検討段階にあるシステムの仕様をプロトタイプの形で確認して、より良いシステム設計を行うためにプロトタイプ開発が必要であると考えられる。

以上のように統合解析システムの開発に当たっては、一般的な地質環境モデル構築のワークフローに具体的なモデル構築事例を適用してプロトタイピングを行うことが望ましいと考えられる。

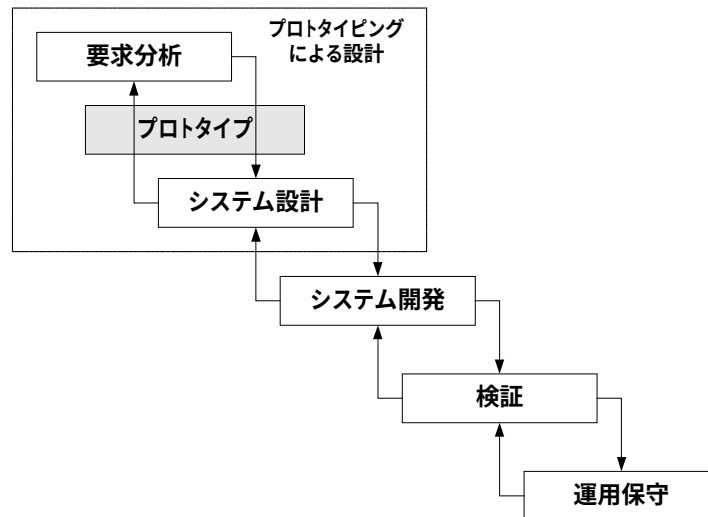


図 2.5.1-1 ソフトウェア開発のライフサイクル

(ii) システム基本機能の検討

昨年度の検討では、地形・地質構造及び水理分野における地質環境モデルの構築に関する情報処理の体系化を重点的に行ったため、「計画立案」の詳細な内容には立ち入らなかった。そこで今年度は地質環境モデルの構築に関する計画立案の具体的な検討を行った。さらに今後の地質環境データベースの持続的開発と性能向上を可能とするためにシステムに拡張性を与える必要があるため、システムの拡張性を検討した。

地質環境モデルの構築に関する計画立案の主要要件は以下である。

- シナリオ管理
- プロジェクト開発管理
- ワークシートの検討

なお、ワークシートの見直しについては地質環境モデルの構築に関するワークフローの整理及び拡充で実施されているので、説明を省略する。

(a) シナリオ管理

シナリオ管理とは、地質環境モデルの構築に特有の要件である。2.1.3 既存のモデル構築例に基づく検討で計画立案ワークの内容が検討された。検討結果によると、計画立案の「調査項目」は、モデル構築に利用される調査項目、即ちワークが列挙されたものである。

地質環境モデルの構築で利用される主要な調査項目（ワーク）を列挙したものがシナリオである。また、ある計画立案の中でフィードバックを行う場合を想定すると、ひとつの計画立案中に複数のシナリオが含まれていることも想定される。これらの関係を図 2.5.1-2に示す。

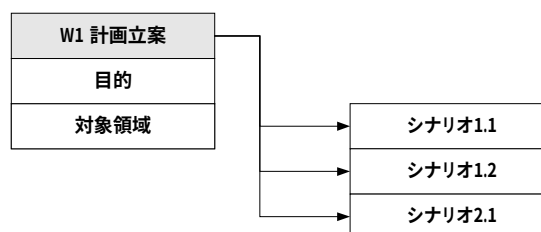


図 2.5.1-2 計画立案とシナリオの関係

地質環境モデルの構築は、データベースを構成するデータの観点からみると、シナリオ自体とシナリオに対応する情報から構成されている。従って、シナリオと情報を柔軟に対応させることがシステムの要件となる。

地質環境モデルの構築においてシナリオを活用するモデル構築の要件をまとめると以下となる。

- ひとつの調査データ、及びその整理データを用いて目的の異なった複数の地質環境モデルの構築が可能であること。
- 水理、及び性能評価などの解析結果をフィードバックして複数回の地質環境モデルの構築が可能であること
- システムに収納されたデータの管理や、検索に際しては、シナリオを考慮してデータが自由な検索が可能であることとする。
- シナリオと関連したデータの管理が可能であること。例えばある調査データに複数のシナリオが対応している場合などにも、データの管理が可能であること。

以上のシナリオに関する要件を満たすためには、図 2.5.1-3のようにシナリオとシナリオに対応する情報の管理を分離して、両者間をリンクで結合することが必要である。

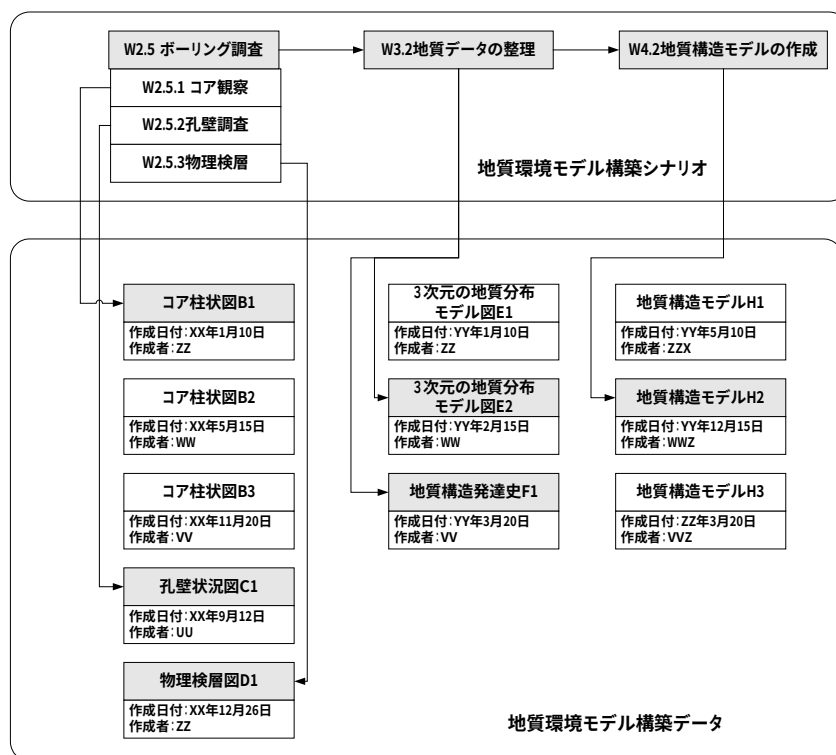


図 2.5.1-3 シナリオと情報のデータ構造

この方式の特徴は以下である。

- シナリオと情報のデータベースの分離
シナリオとシナリオに対応する情報はデータベースのテーブルを分けて管理する。これにより、シナリオと情報を無関係にデータベースに登録、管理することができ、運用の効率が向上する。
- シナリオと情報のデータベースのリンク
シナリオとシナリオに対応する情報をリンクして、両者を結び付ける。リンクを張り替えることにより、シナリオへの情報の追加削除を柔軟に実施可能である。

シナリオと情報の間にリンクを設定することにより、シナリオと情報のデータ参照が実現可能となる。シナリオと情報間のリンク設定の実現に必要な、データベースのテーブルの結合の概念を次図 2.5.1-4に示す。

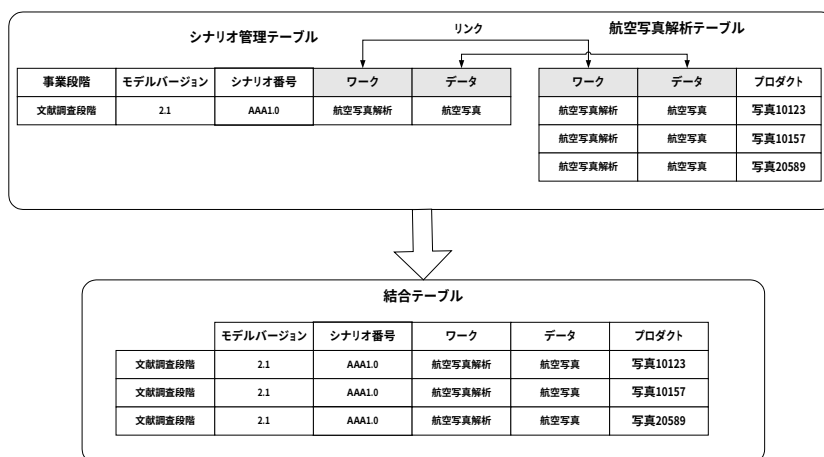


図 2.5.1-4 テーブルの結合

本方式により地質環境モデル構築に必要であり有効な以下の機能が実現できる。

- 複数のシナリオ中よりの横断的検索

シナリオ番号を検索キーに設定して、シナリオとデータを管理するテーブルをリンクすることにより、以下のような機能を持つシナリオ横断的データ検索が可能となる。

- データベース検索機能
 - ・ 時間情報による検索（事業段階、モデルバージョン、調査日時）
 - ・ 位置情報による検索（緯度、経度、標高または深度）
 - ・ 調査情報による検索（調査名など）
 - ・ シナリオによる検索（シナリオ番号）
- 地質環境モデルの構築のフィードバック

本システムで実現するワークフロー間のフィードバックとしては、フィードバックの規模が大きく、フィードバックのルールを決めることが可能であるような、性能評価及び水理などの解析結果の地質構造及び水理地質構造モデルへのフィードバックを検討対象とする。

ワークフロー間のフィードバックは、フィードバック後の処理を別シナリオとして管理する事により実現が可能である。この方式では、関連するワーク、データ、品質管理情報など全情報をシナリオと関連づけて管理可能であり、品質管理情報のトレースも可能である。

以上のシナリオ管理方式により、シナリオを活用するモデル構築の要件を実現することができる。システムの設計検討結果をシステム開発に適用するには、三枝モデルなど地質環境モデルの構築の具体例について本機能を検討して、システムのプロトタイプを開発して問題点を洗い出し設計に反映した後にシステム開発を行うことが適当であると思われる。

(b) プロジェクト開発管理

一般的にプロジェクト開発管理はプロダクト管理を含んだ広い意味で使用される。プロジェクト開発管理とプロダクト管理の一般的な意味の相違点は以下である。

- プロジェクト開発管理：与えられた制約と目標に対して開発要員や資源を最適に割り当てて、高品質のプロダクトを開発及び保守する。
- プロダクト管理：開発成果であるプロダクトそのものを管理する。

地質環境モデル構築では、プロダクトとは地質環境モデル構築の過程で発生する全情報と言うことが出来る。従って本研究の目的は地質環境モデル構築に関するプロダクト管理の検討であり、開発管理は検討のスコップ外である。しかしプロジェクトの開発管理に資するデータを提供するために、データベース・システムの検討を行う必要があると思われる。

地質環境データベースは、ワーク単位のプロダクト自体、関連情報（作成日など）、及び品質管理情報をデータベースを使って管理しているので、プロジェクトの開発管理のプロセス管理、プロダクト管理、及び品質管理機能にデータを提供できると考えられる。

上記のプロジェクトの開発管理の要件をまとめると以下となる。

- プロジェクトの概観
 - モデル構築シナリオ、及び開発予定期間などプロジェクトの要約情報の提示。
- プロジェクトのスケジュールと開発実績
 - 各ワークの作業実績と開発計画の対比をガントチャートなどグラフの形で提示する。
- プロジェクトの進捗率
 - ある時点におけるモデル構築シナリオの進捗率を提示する。

- プロジェクトの品質管理データ
品質管理の問題点などモデル構築シナリオの品質管理情報を提示する。

以上より地質環境データベースとプロジェクト開発管理の関係をまとめると図 2.5.1-5となる。

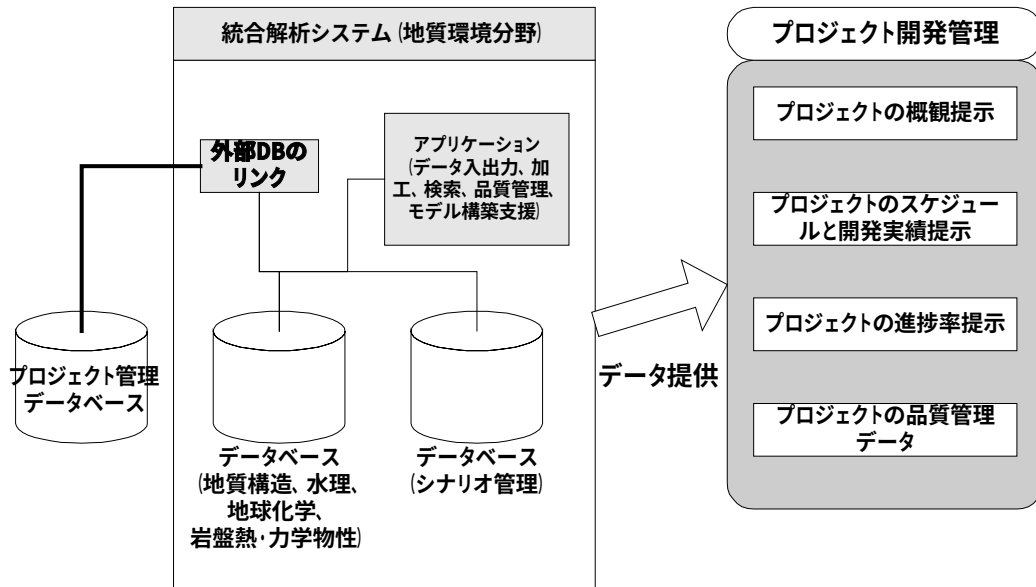


図 2.5.1-5 地質環境データベースとプロジェクト開発管理の関係

プロジェクト開発管理へのデータ提供をシステム化するにあたり、プロトタイプに三枝モデルなど地質環境モデルの構築例を適用して設計課題の抽出を行うことが必要であると考えられる。

(c) システムの拡張性

将来的に地質環境データベースには持続的な開発が行われると予想される。そこで、地質環境データベースの設計では、システムに汎用性、拡張性を持たせるよう検討を行い、外部データベース及び各種アプリケーションとの柔軟性を持った連携を可能とするよう検討することが必要である。

プロトタイプシステムは、データベースのプロトタイプと、それに付随するアプリケーション（データ入出力、加工処理など）から構成される。データベースはリレーショナルデータベースを採用して、汎用性、拡張性を持たせることにより、将来のデータの追加などが柔軟にできるようにする。また、外部データベースとのリンク機能を持たせることにより、外部データベースとの接続を柔軟にできるようにする。

各種アプリケーションについても、汎用性、拡張性を持たせるよう設計を行い、さらに、外部アプリケーションとのリンク機能を持たせることにより、図 2.5.1-6のようにシステムに柔軟性、及び拡張性を持たせる。

このように柔軟性、及び拡張性を持つようにプロトタイプシステムを設計することにより、プロトタイプシステムを今後のシステム開発に利用して生かせることが可能である。

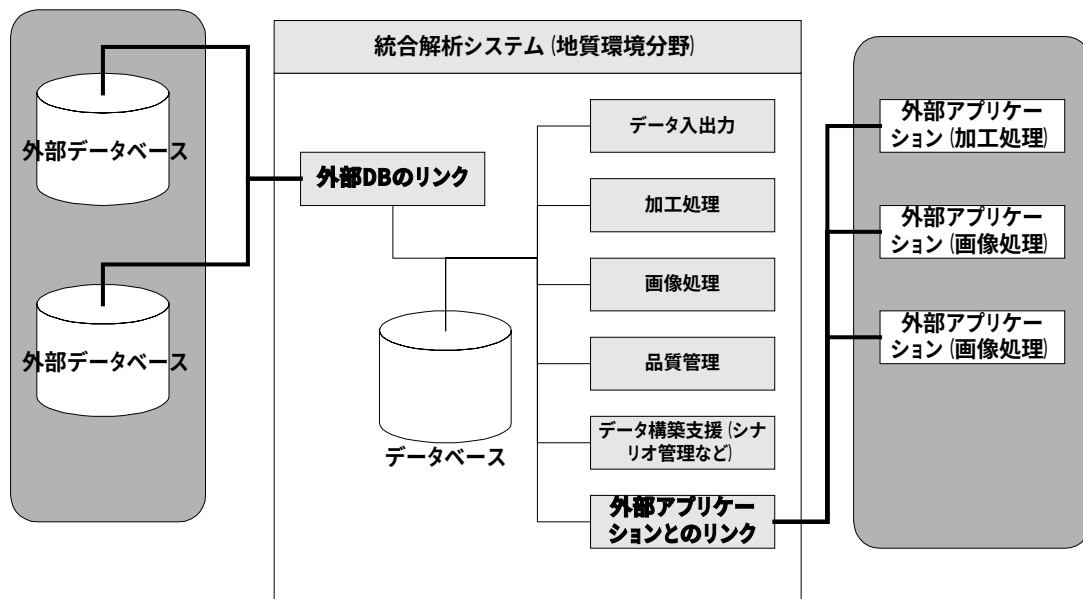


図 2.5.1-6 システムの拡張性

(iii) システム詳細機能の検討

昨年度検討した地質環境データベース・システムの基本機能に基いてシステム機能の詳細な検討を行った。

地質環境データベース・システムの基本機能をアプリケーション構築の観点から機能毎にまとめ直し、データ入出力機能、データ加工処理機能、データ画像処理機能、及び、データ品質管理機能の4項目に整理した。さらにシステムの効率よい運用に必要なモデル構築支援機能を追加した。この機能は前項で検討した地質環境モデルの構築の流れのシナリオの管理機能を含んでいる。各機能を以下に示す。

- ① データ入出力機能：リレーショナルデータベースに地質環境、及び品質管理データの入出力を行う。
- ② データ加工処理機能：ワークフローのワークに相当する2次データ作成、及び地質環境モデル構築のためのデータ作成などを行う。
- ③ データ画像処理機能：データベースに収納されたデータを3次元鳥瞰図、2次元断面図などの様々な形式で可視化する。
- ④ データ品質管理機能：ワークシートで規定された品質管理データをデータベースで管理する。
- ⑤ モデル構築支援機能：地質環境モデルの構築の流れのシナリオの管理を行う。さらにワークシートで規定されたモデル構築に関する判断項目や判断材料、ワークのリンク、ワークフローを流れるデータの種類などを、ユーザにインタラクティブに教えてモデル構築の支援を行う。

上記各機能について検討を行った。

(a) データ入出力機能

地質環境モデルの構築の実例として、ボーリングデータから3次元地質構造モデルを作成するフローの例を図 2.5.1-7に示した。これは3次元地質構造モデルソフトを使った地質環境モデルの構築事例を基にまとめたものである。

また、モデルの構築に必要なボーリングデータ例は以下となる。

- 坑井位置データ、方位傾斜データ、及び地質データなど

このような詳細データの検討がワーク毎に必要であるが、それらをすべて検討することは所用時間の観点から現実的ではないと思われる。

従って、三枝モデルなど地質環境モデルの構築の具体例について本機能を検討して、システムのプロトタイプとして実装することが適当であると思われる。

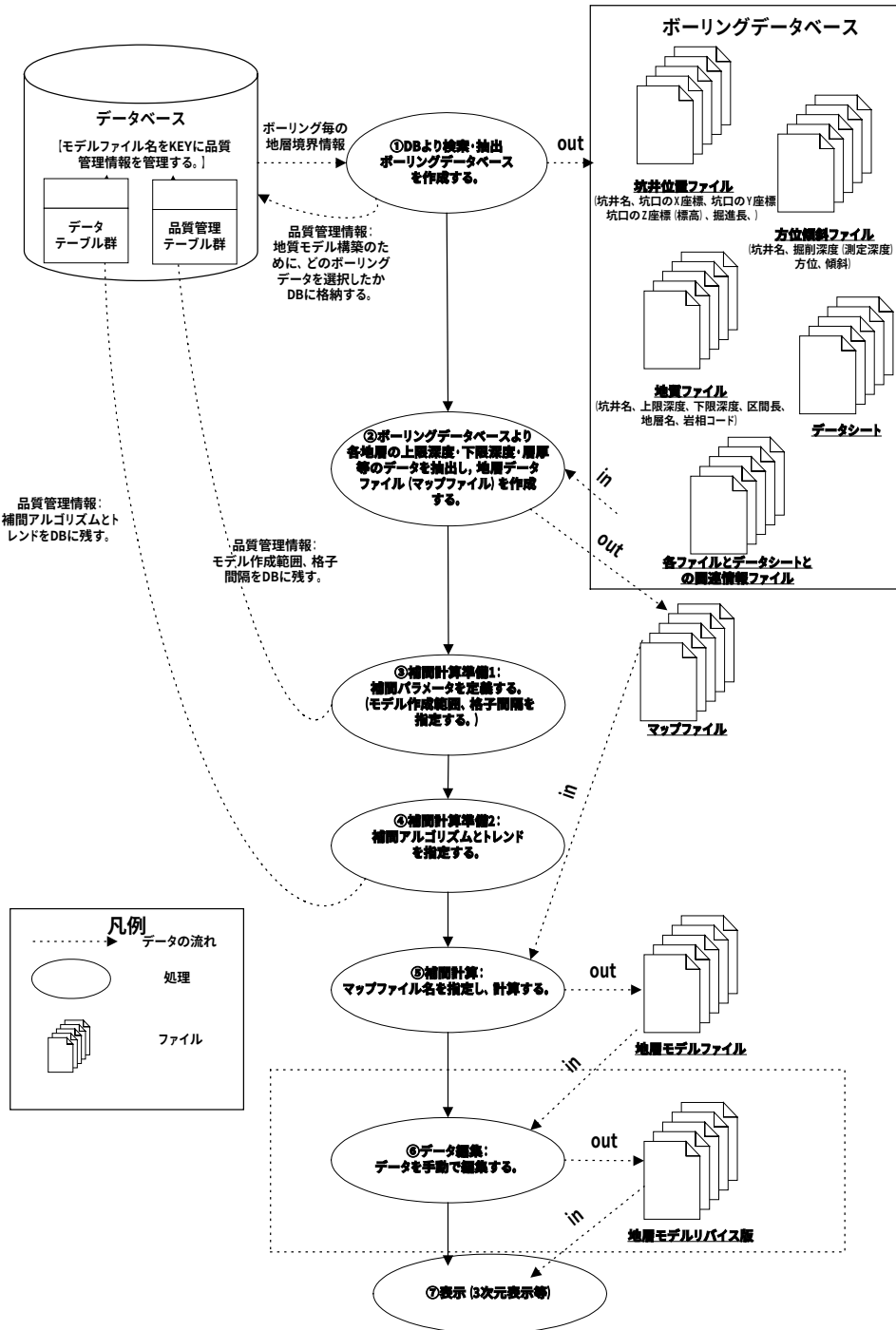


図 2.5.1-7 ボーリングデータから地質構造モデルの作成フロー

(b) データ加工処理機能

地質環境モデルの構築に関しては、ワーク毎にデータの加工処理内容が異なっている。

ボーリングデータから3次元地質構造モデルを作成するフローの図中に、データ加工処理を示した。データの加工処理例としては、データの品質管理、及び補間計算などが挙げられる。

プロトタイプ開発に当たり、地質環境モデルの全ワークのデータ加工処理をすべて検討することは、所用時間の観点から現実的ではないと思われる。

従って、三枝モデルなど地質環境モデルの構築の具体例について本機能を検討し

て、システムのプロトタイプとして実装することが適当であると思われる。

(c) データ画像処理機能

地質環境モデルの構築に関しては、地質構造モデルなどのモデルの可視化、及び地質調査データとその整理データの可視化に画像処理が必要である。

ボーリングデータから3次元地質構造モデルを作成するフローに含まれる画像処理の例としては、ボーリング柱状図、坑壁状況図、及び物理検層図などが挙げられる。

画像処理の内容は対象とするデータの種類毎に異なっていると考えられるため、プロトタイプ開発に当たってすべて検討することは所用時間の観点から現実的ではないと思われる。

従って、三枝モデルなど地質環境モデルの構築の具体例について本機能を検討して、システムのプロトタイプとして実装することが適当であると思われる。

(d) データ品質管理機能

地質環境モデルの構築に関しては、品質管理の対象となるデータは、ワーク毎にデータ、モデル、判断、処理の観点からの品質管理情報が存在する。これらはワーク毎に異なっていると考えられるため、それらをすべて検討することは所用時間の観点から現実的ではないと思われる。

従って、三枝モデルなど地質環境モデルの構築の具体例について本機能を検討して、システムのプロトタイプとして実装することが適当であると思われる。

(e) モデル構築支援機能

地質環境モデル構築支援機能としては、地質環境モデルの構築の情報処理の流れのシナリオ管理機能、シナリオ及びワークの整合性チェック機能、及び、ワークシートで規定されたモデル構築に関する判断項目や判断材料などを、ユーザにインタラクティブに教えるモデル構築支援機能が挙げられる。これらは、上記4項目に比べて一般的な検討が可能である。各機能の検討結果を次に示す。

・シナリオの管理機能

シナリオの管理機能については、シナリオ管理の柔軟性、自由な検索、地質環境モデルの構築のフィードバック、及びモデル構築の反復などの機能が必要である。これらは既に検討したシナリオ管理に対応するデータ構造をデータベース設計に採用することにより実現が可能である。

・シナリオ及びワークの整合性チェック機能

地質環境モデル構築における整合性チェックには多様多種のものが想定される。その代表的なものを次にまとめた。以下の確認事項は地質環境データベースに登録されたデータを検索し、抽出されたデータをチェックすることで実現可能である。

-データの抜けの確認

ワークに登録されているべきデータが登録されていることの確認などがある。

-時間データの整合性確認

ワークへのデータの登録日と品質管理の日付の整合性の確認などがある。

-その他特定のルールに基づく確認

シナリオに属するあるワークの内容が不明の場合に、シナリオがデータを持たない上位ワークをリンクしていることの確認などがある。

・モデル構築支援機能

モデル構築支援機能は、ユーザのモデル構築サポート機能が必要である。これはワークシートに書き込まれた専門家の知見をユーザに見せるインターフェースを作成することなどにより実現可能である。

但し、これらの機能は、三枝モデルなど地質環境モデルの構築の具体例について本機能を検討して、システムのプロトタイプとして実装することが適当であると思われる。

(2) データベース構造の検討

地質環境データベース・システムは、データ管理を担当するデータベース、及びデータ処理を担当するアプリケーション部分に分けられる。ここではデータ管理を担当するデータベースについて検討を行った。

まず地形・地質構造、及び地下水流動特性分野については、昨年度の地質環境モデルの構築の情報処理の体系化結果に基いて、データベース構造の再検討を行った。次に地球化学特性、及び岩盤熱・力学物性分野については、今年度実施した地質環境モデルの構築の情報処理の体系化結果に基いて、新たにデータベース構造の検討を行った。

データベース構造の検討に際しては、地質環境データ及び品質管理情報を管理するデータベースの論理構造を検討し、設計を行った。データベースの論理構造の設計手法は文献⁵⁾を参考にした。

(i) 地形・地質構造及び地下水流動特性データベース構造の再検討

(a) データベースの機能要件

・昨年度の検討結果

本データベースに対する主要な機能要件は以下である。

- 地質調査からモデル構築に至る一連の流れにおけるデータの管理
- 地質調査からモデル構築に至る一連の流れにおける品質管理情報の管理
- 品質管理情報の追跡性
- 将来の拡張性、及び外部データベースとの連携などの柔軟性
- 画像データ、文章データの取扱い

また、データベース構造の検討に際しての主要要件は以下である。

- リレーショナルデータベースの採用
データベースの将来の拡張性、及び柔軟性に関する機能要件に対応するため、データの拡張性、及び維持管理の容易なリレーショナルデータベースを採用した。
- ワークフロー図からのデータベース・テーブルの導出
地質環境モデル構築の情報処理の流れがワークフロー図、ワークシート、及びデータフローシートの形式でまとめられており、これらの体系化結果に基づいてデータベースの論理設計の見直しを行った。
- ワークフロー図とプログラム、及びデータベースの関係
ワークフロー図で表された情報処理の流れの中で、ワークはプログラムに対応し、ワーク間を流れるデータを収納するのがデータベースであるというのがワークフロー図とシステムの基本的な関係である。データベースはデータの種類に従って分類され、複数のテーブルから構成される階層構造を持つよう設計を行うことが必要である。
- ・今年度の検討結果
昨年度と同じ機能要件を基にしてデータベース構造を再検討した。

(b) データ分類

昨年度のデータ分類方法に従い、今年もデータ分類を実施した。同じワークで生成されるデータを一つのグループに分類した。

今年度は「水理地質構造モデルの構築」を新たに検討したが、これは複数のワー

クから構成されている。昨年度同様に各ワークをデータの最小単位としてデータ分類を行った。

(c) データベース構造

昨年度と同じ要件に基いてデータベース構造の検討を実施した。データベースのテーブルをワークに対応させて設計を行った。

今年度の情報処理の体系化の修正内容は「水理地質構造モデルの構築」の追加と「水理地質データ区分検討」の削除である。「水理地質構造モデルの構築」は地質構造モデルの3種類に分類される。水理地質構造モデルの構築を構成するワーク毎にデータベーステーブルを検討した。

(d) 検索機能

今年度の地質環境モデルの構築の体系化の検討で「シナリオ管理」の概念が「計画立案」に新たに加えられた。そこでシナリオによる検索を可能とするために、データベース構造を見直し、計画立案、及びシナリオ管理テーブルを追加した。

以上よりシナリオ番号等の情報を含んだデータベースの任意の情報の検索・抽出が可能となった。このようにしてユーザの自由な検索及び、品質管理情報のトレーサビリティ機能の実現を可能とするデータベース構造を設計した。

(e) 拡張性など

拡張性については昨年度と同じく、リレーショナルデータベースと画像などのファイルへのリンクによるデータベースの結合方式により、データベース構造に拡張性、柔軟性を持たせた設計を実施した。

データベースの全体構造を図 2.5.1-8, 図 2.5.1-9に示した。

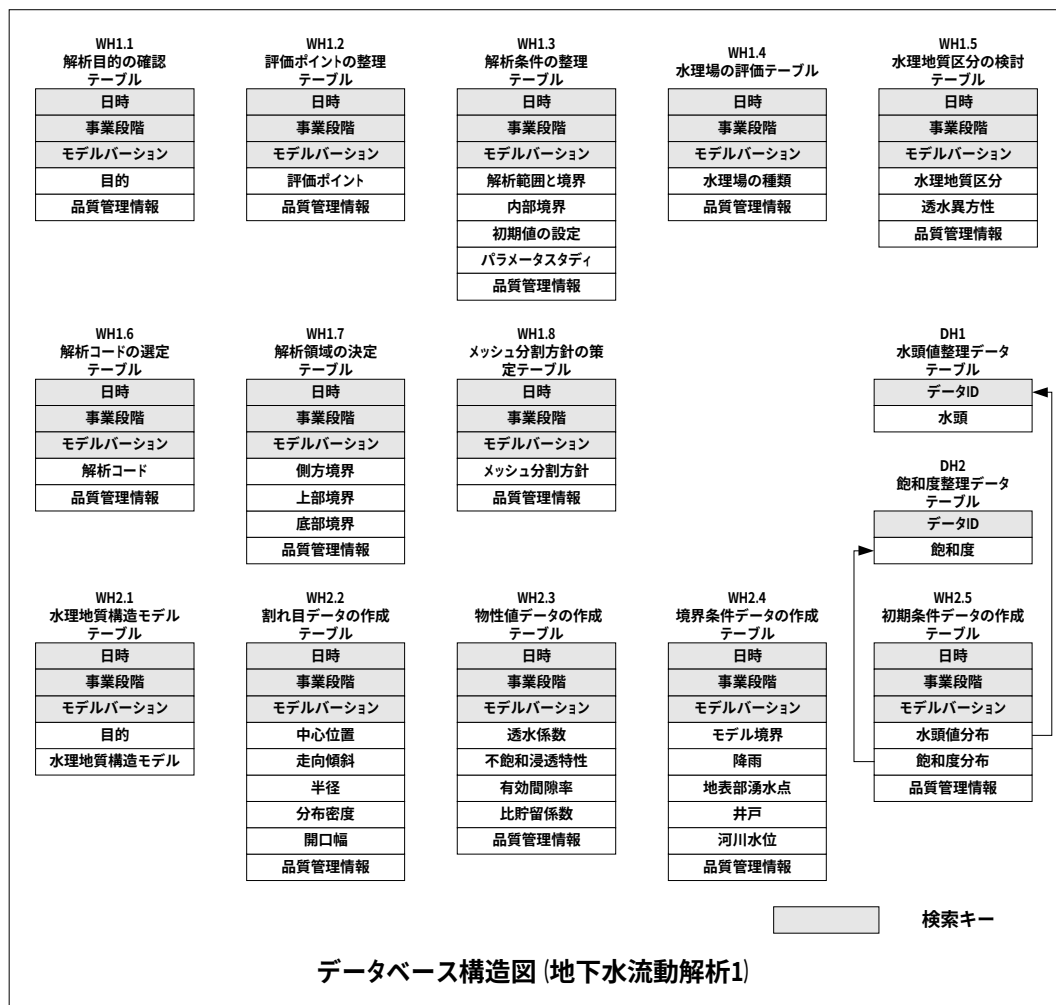
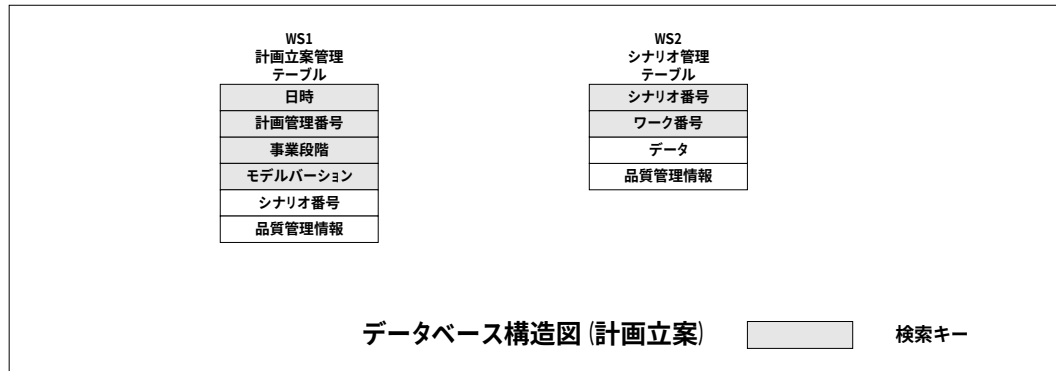


図 2.5.1-8 データベース構造（計画立案管理，及び地下水流動解析 1）

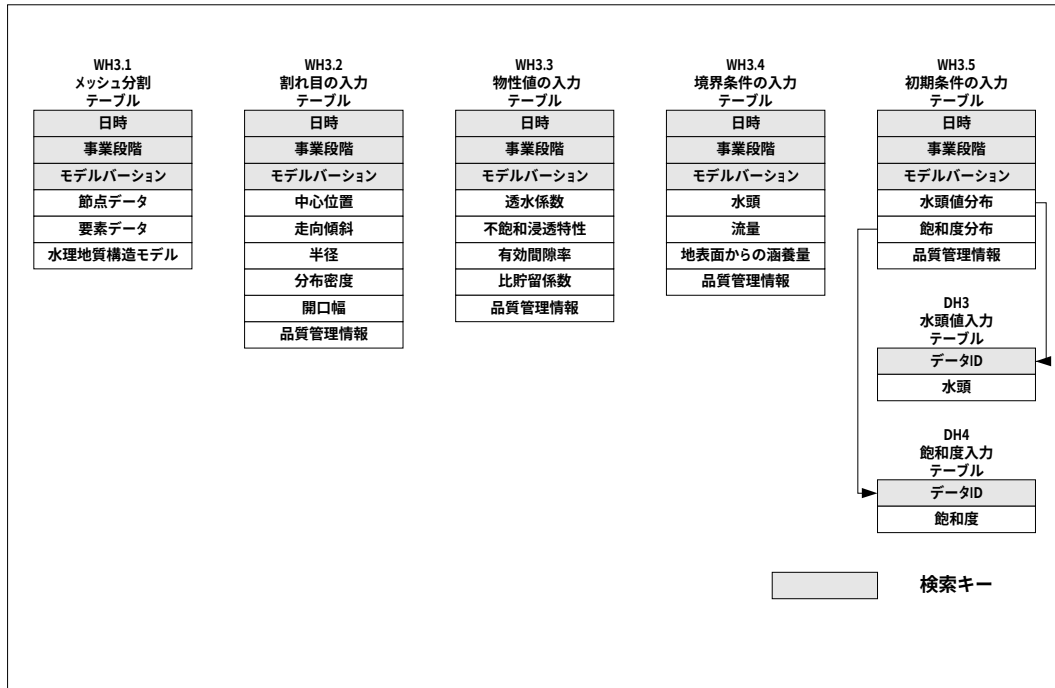


図 2.5.1-9 データベース構造（計画立案管理，及び地下水流動解析 2）

(ii) 地球化学特性に関するデータベース構造

(a) データ分類

地球化学特性に関するデータは、調査データ（1次データ）、調査結果の整理データ（2次データ）、及び地球化学モデルの3種に分類した。また、ワーク毎に発生する品質管理情報が、ワークに対応するグループ（テーブル）に含まれるようデータベース設計を行った。

(b) データベース構造

データベース構造の検討結果は地質構造の場合と基本的に同じである。

地質構造の場合と同じくデータベース構造に柔軟性を与えるために、各ワークに対応させて一つのテーブルを設計した。テーブルには一つのワークで発生するデータとそれに関する品質管理情報が含まれる。検索キーに事業段階などを付与することにより、時系列に発生する同種類のデータを同じテーブルに収納できるようにテーブルを設計した。

テーブルは調査データ、調査結果の整理データ、地球化学モデル、及び参照データの4種類に分類される。テーブルのシンボル名（英数字名）の語尾により分類が明示されるようシンボル名を付けた。

(c) 検索キーの設定

検索キーの設定の検討結果は地質構造の場合と基本的に同じである。

全テーブル共通の検索キーとして、事業段階、モデルバージョン、及びシナリオ番号を与えた。1次データについては、さらに測定日時、位置（緯度、経度、標高）、および試料番号を検索キーに加えた。

(d) 拡張性など

リレーショナルデータベースの採用により将来の拡張や外部データベースからのデータの取り込みに対応したデータベースを設計した。また、データベースが画像データや文章データに対する高いメンテナンス性を有するよう設計した。

データベースの全体構造を図 2.5.1-10、図 2.5.1-11に示した。検索キー、参照項目、及び主要データが表示されている。

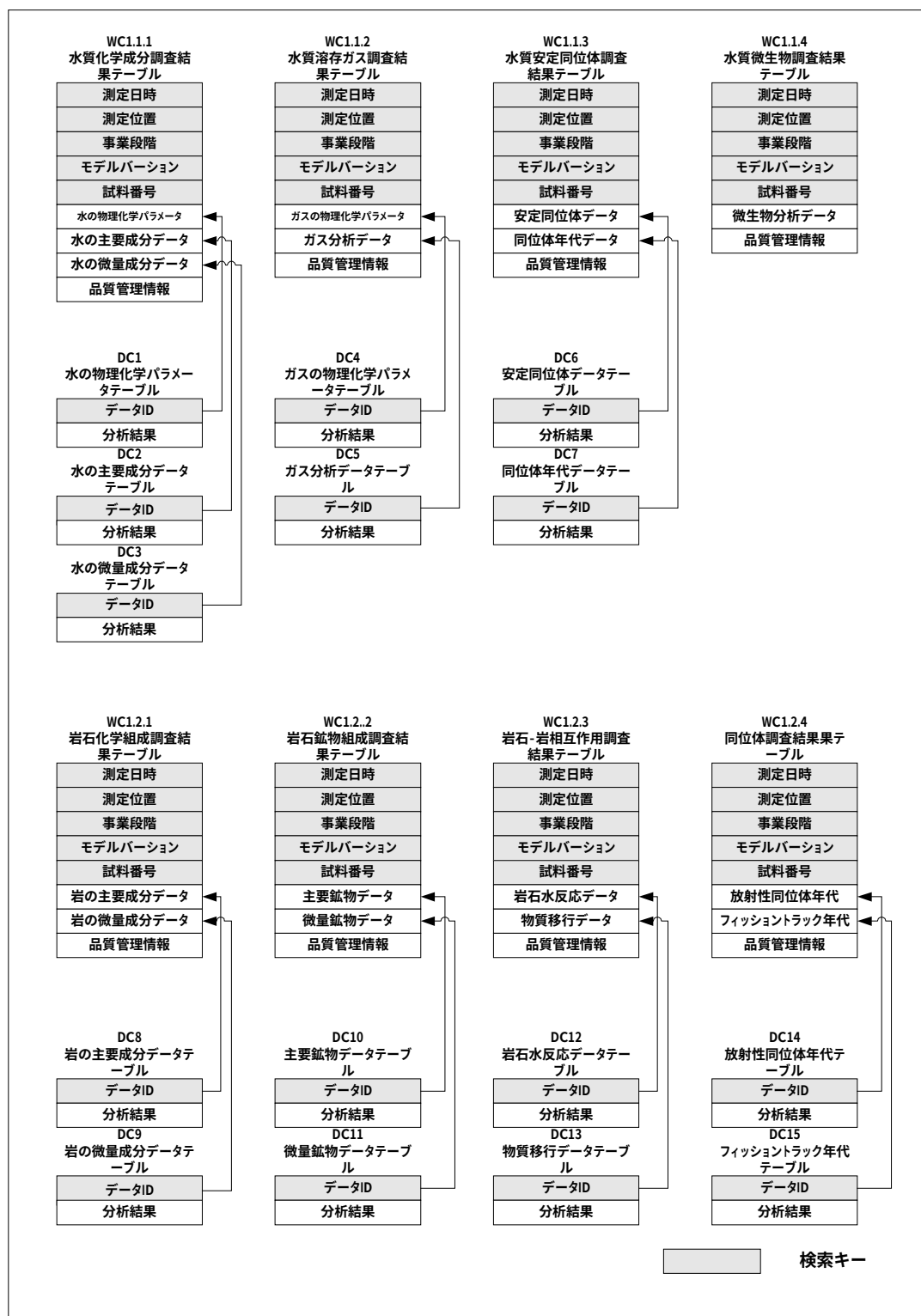


図 2.5.1-10 データベース構造（地球化学 1）



図 2.5.1-11 データベース構造（地球化学 2）

(iii) 岩盤熱・力学物性に関するデータベース構造

(a) データ分類

岩盤熱・力学物性に関するデータは、調査結果（1 次データ）、調査結果の整理データ（2 次データ）、岩盤熱・力学物性モデルの 3 種に分類した。また、ワーク毎に発生する品質管理情報が、ワークに対応するグループ（テーブル）に含まれるようデータベース設計を行った。

(b) データベース構造

データベース構造の検討結果は地質構造の場合と基本的に同じである。

地質構造の場合と同じくデータベース構造に柔軟性を与えるために、各ワークに対応させて一つのテーブルを設計した。テーブルには一つのワークで発生するデータとそれに関する品質管理情報が含まれる。検索キーに事業段階などを付与することにより、時系列に発生する同種類のデータを同じテーブルに収納できるようにテーブルを設計した。

テーブルは調査データ、整理データ、岩盤熱・力学物性モデル、及び参照データの 4 種類に分類される。テーブルのシンボル名（英数字名）の語尾により分類が明示されるようシンボル名を付けた。

(c) 検索キーの設定

検索キーの設定の検討結果は地質構造の場合と基本的に同じである。

テーブル共通の検索キーとして、事業段階、モデルバージョン、及びシナリオ番号を与えた。調査データについては、さらに測定日時、位置（緯度、経度、標高）、および試料番号を検索キーに加えた。

(d) 拡張性など

リレーショナルデータベースの採用により将来の拡張や外部データベースからのデータの取り込みに対応したデータベースを設計した。また、データベースが画像データや文章データに対する高いメンテナンス性を有するよう設計した。

データベースの全体構造を図 2.5.1-12 に示した。検索キー、参照項目、及び主要データが表示されている。

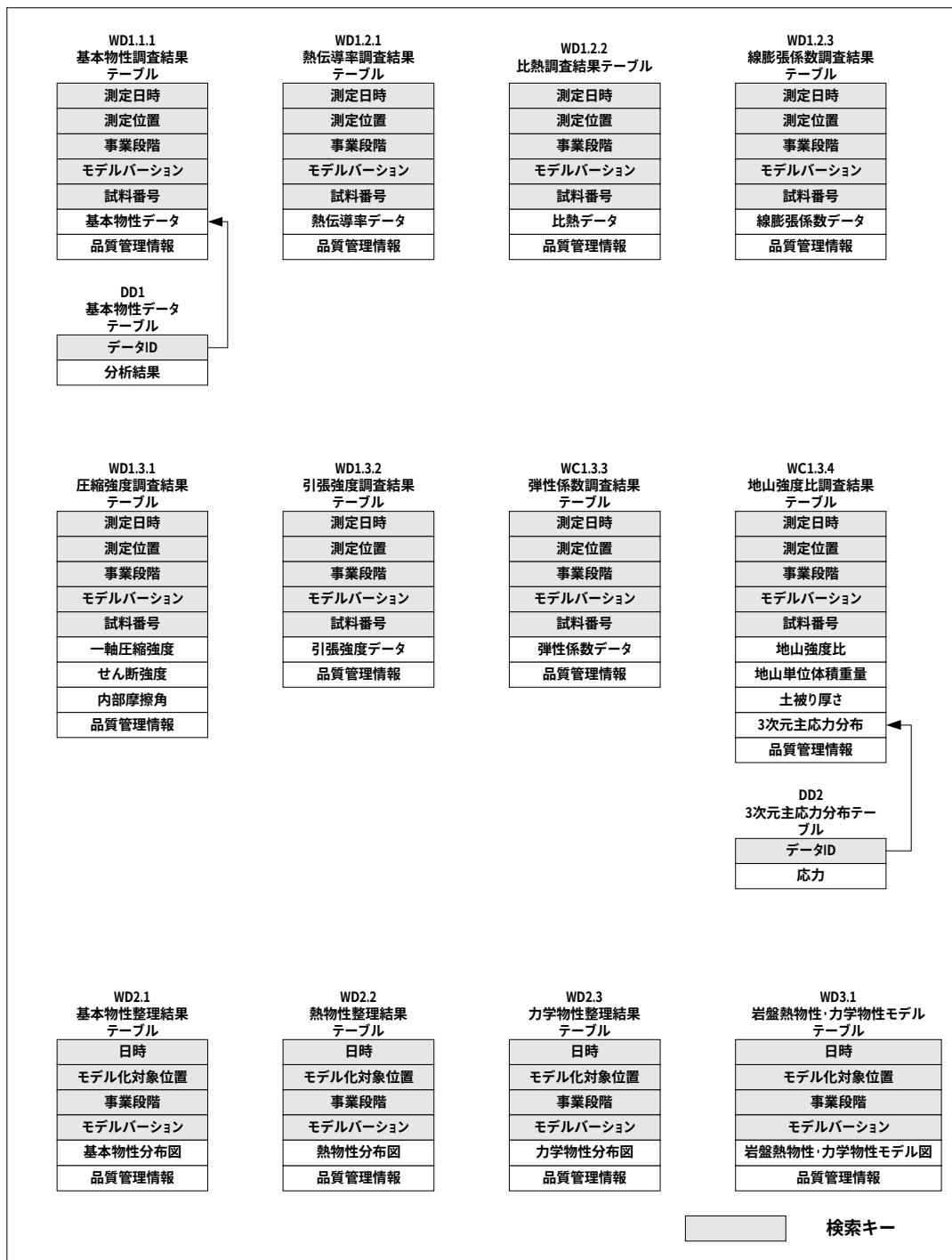


図 2.5.1-12 データベース構造（岩盤物性）

2.5.2 地質環境データベースのプロトタイプの開発

プロトタイプの試作を通じて、システム設計上の問題点、及び課題抽出を行った。

2.5.1 節の検討を受けて、本プロトタイプシステムでは下記の機能を検討した。

- ・ データ入出力機能・・・ファイル形式による登録が可能（ファイル管理が基本。イメージについては BMP 形式、数値については EXCEL 形式、テキストファイルについても管理可能）。
- ・ データ加工処理機能・・・登録データ（ファイル形式）に対し、外部アプリケーション（ペイントブラシ、EXCEL）による加工が可能。
- ・ 画像表示機能・・・ビットマップの表示が可能（拡大機能）。
- ・ 品質管理機能・・・各ワーク共通の品質管理情報（データ登録日、データ登録者、データ作成日、データ作成者、データの品質管理、モデルの品質管理、処理の品質管理、判断の品質管理）の管理が可能。
- ・ モデル構築支援機能・・・シナリオの管理が可能（シナリオの新規登録、編集、削除が可能）。基本的なデータ整合性チェック（シナリオチェックなど）が可能。モデル構築支援のためのワークシートの表示が可能。

本プロトタイプにおいては、上記の機能を実現するために、以下 3 つの機能を中心に開発を行った。

- ・ データ登録／加工機能・・・地質管理データ及び品質管理データの登録を行う。また、登録データに対し、ペイントブラシ、EXCEL を用いたデータ加工処理を行う。
- ・ データ検索表示機能・・・品質管理情報やシナリオ名をキーにデータの検索を行う。また、検索したデータの表示（ビットマップの拡大表示）を行う。
- ・ モデル構築支援機能・・・シナリオの新規登録、編集、削除を行う。また、基本的なデータ整合性チェックを行う。

(1) プロトタイプシステムの画面構成

プロトタイプシステムの画面遷移図を図 2.5.2-1に示す。メインメニューより、データ登録／加工，モデル構築支援，データ検索表示の各機能に分岐される。

“データ登録／加工”では，まず，ワークフロー画面において，該当するワークを選択し，次に，データ登録画面において，地質環境データ及び品質管理データの登録を行う。データを登録する際，データ加工画面において，事前にデータの加工を行うことも可能である。

“モデル構築支援”では，まず，計画立案作成画面において，計画立案を作成し，その作業の中でシナリオを作成する。シナリオ作成の中で，モデル構築に必要なワークを指定する。ワークの指定は，利用ワーク指定画面において行う。次に，作成したシナリオに対し，登録データのリンク付けを行う。リンク付けはシナリオ設定画面において，行う（シナリオ指定画面→ワークフロー画面→シナリオ設定画面の順に遷移）。また，シナリオとリンク付けされたデータは，データ表示画面より閲覧可能である（シナリオ指定画面→ワークフロー画面→個別データ指定画面→データ表示画面の順に遷移）。

“データ検索表示”では，データ検索画面において，シナリオ，ワークを検索条件とした検索を行い，データ表示画面より，データの閲覧が可能である。

なお，ワークフロー表示画面において，各ワークの説明が参照可能である。

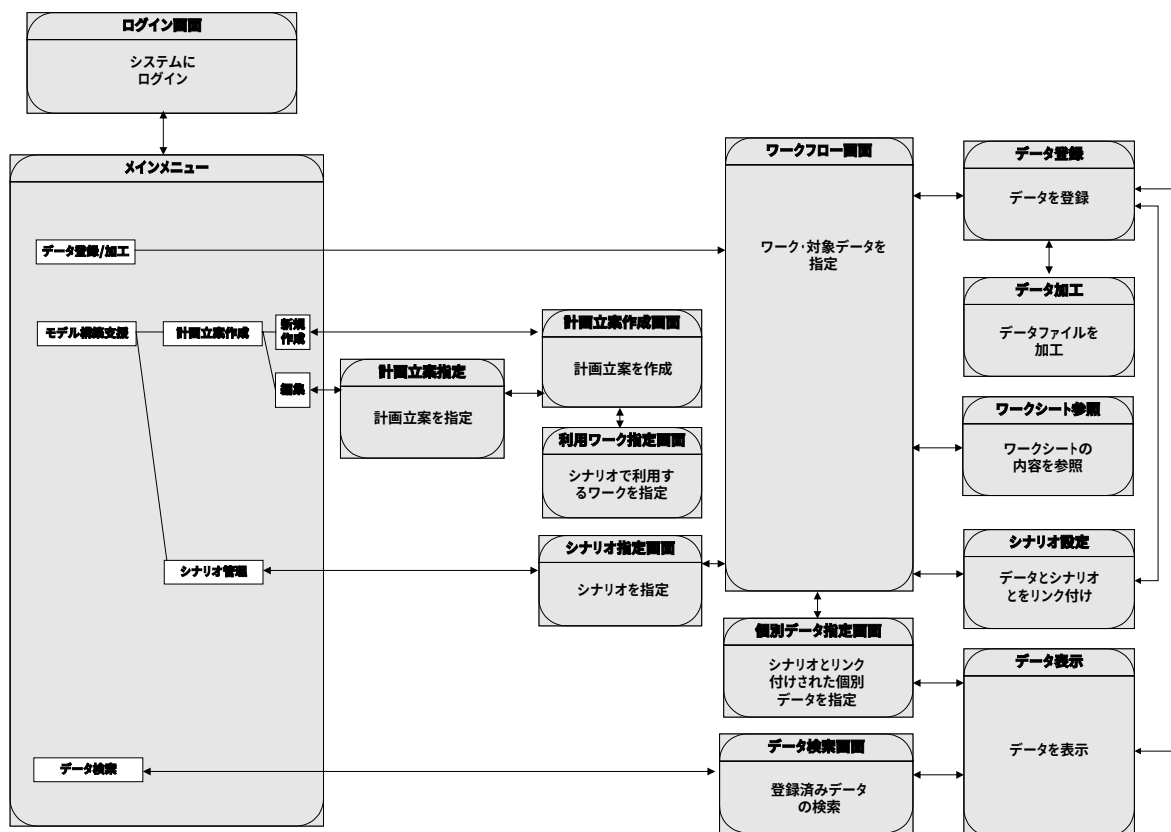


図 2.5.2-1 プロトタイプシステム画面遷移図

(2) プロトタイプシステムのデータ管理体系

プロトタイプシステムのデータ管理体系を図 2.5.2-2に示す。

登録データは、属性情報（データ名称等）と品質管理情報及びデータファイルのセットから構成される。

データ登録機能により、対象データ（昨年度までに検討した各ワークで対象としているデータの種類）毎のデータ登録を行う。

モデル構築支援機能により、シナリオを作成し、作成したのシナリオに対し、登録済みデータとのリンク付けを行う。リンク付けは、各ワークの対象データ毎に行う。シナリオにおける一つの対象データに対し、複数の登録データとリンク付けを行うことも可能である。

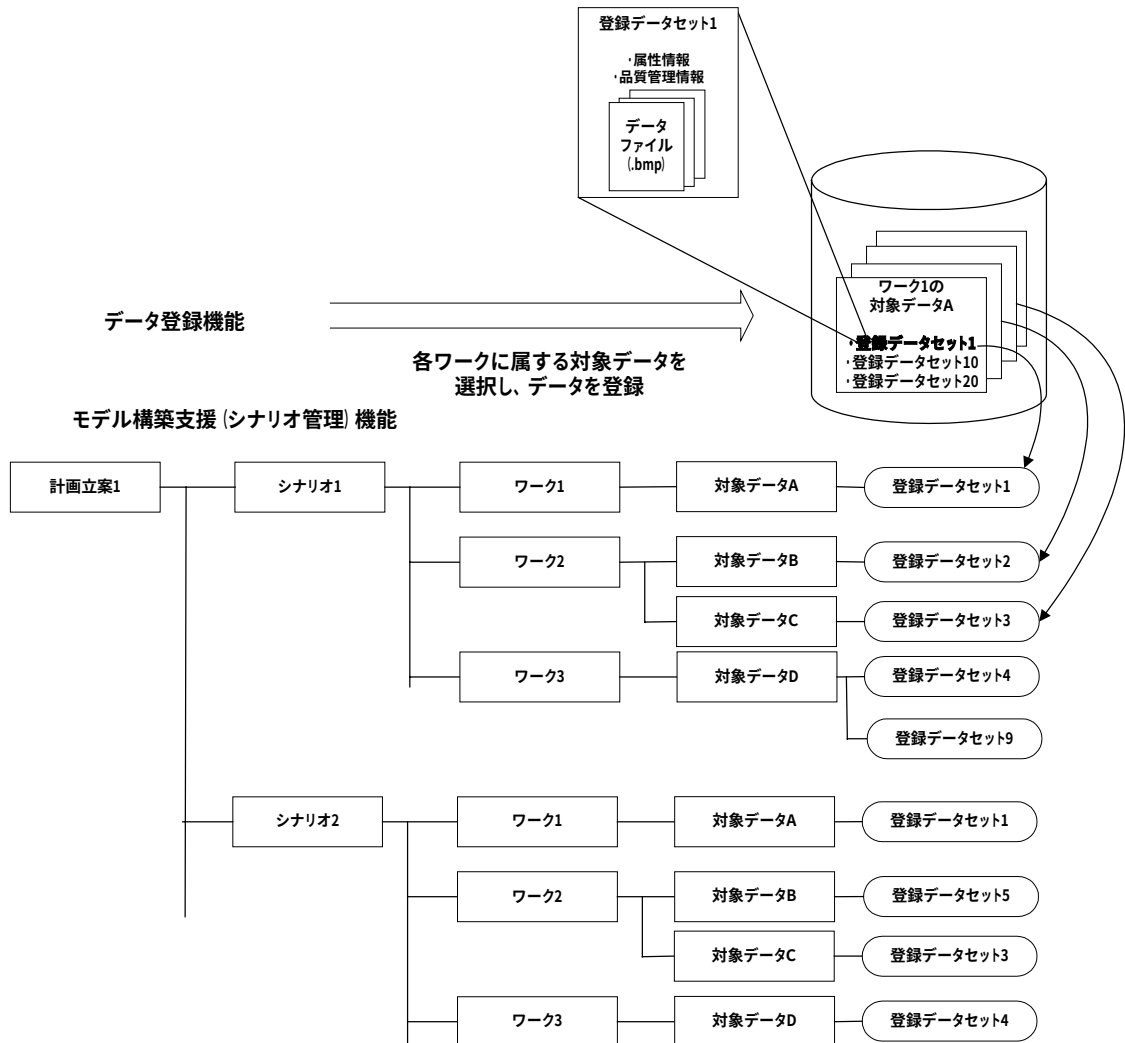


図 2.5.2-2 プロトタイプシステムのデータ管理体系

表 2.5.2-1 地質分野の各ワークの対象データ

ワーク名	対象データ
航空写真解析	航空写真判読・解析図
衛星画像解析	衛星画像判読・解析図
標高調査	地表標高・要素図
岩相岩質調査	露頭状況図
地質境界調査	地質境界分布図
断裂系調査	断裂系分布図
褶曲構造調査	褶曲構造分布図
地史調査	地史概略図
空中電磁探査	比抵抗分布図
空中磁気探査	磁気異常分布図
空中放射能探査	放射線強度分布図
重力探査	ブーゲー異常図
電気探査	比抵抗分布図
電磁探査	比抵抗分布図
屈折法地震探査	弾性波速度構造図
反射法地震探査	重合断面図
反射法地震探査	弾性波速度構造図
孔間トモグラフィ	弾性波速度分布図
孔間トモグラフィ	比抵抗分布図
コア観察	ボーリング柱状図
孔壁観察	孔壁状況図
物理検層	物理検層図
坑道調査	坑道調査結果
地形データ整理	DEM 標高図
地形データ整理	起伏量図
地形データ整理	傾斜度図
地形データ整理	地形特性図
地質データ整理	地質分布モデル
地質データ整理	地質構造発達図
地質データ整理	地質素図
割れ目特性データ整理	割れ目特性分布図
物理物性特性データ整理	3次元物理特性分布モデル
地形モデル作成	地形モデル
地質モデル作成	地質構造モデル

表 2.5.2-2 水理分野の各ワークの対象データ

ワーク名	対象データ
地下水位観測	地下水位調査結果
自然湧水調査	自然湧水調査結果
掘削面湧水調査	掘削面湧水調査結果
坑道湧水調査	坑道湧水調査結果
間隙水圧調査	間隙水圧調査結果
流向流速調査	流向流速調査結果
単孔式透水試験	単孔式透水試験結果
多孔式透水試験	多孔間透水試験結果
坑道規模透水試験	坑道規模透水試験結果
床盤注水試験	床盤注水試験結果
室内透水試験	室内透水試験結果
物理試験	物理試験結果
気象観測	気象観測結果
土壌水分観測	土壌水分観測結果
河川流量	河川流量観測結果
水利用調査	水利用調査結果
不飽和浸透特性	不飽和浸透特性測定結果
トレーサ試験	トレーサ試験結果
地下水頭分布の整理	水頭値
間隙水圧の整理	間隙水圧
比貯留係数の整理	比貯留係数
流向流速の整理	流向流速
湧水量の整理	湧水量
透水係数の整理	透水係数
水収支データの整理	水収支データ
不飽和浸透特性の整理	不飽和浸透特性
物理特性の整理	物理特性
間隙水圧による水理地質区分の作成	間隙水圧による水理地質区分データ
間隙水圧による水理地質区分の作成	地質構造モデル
流向流速による水理地質区分の作成	間隙水圧による水理地質区分データ
流向流速による水理地質区分の作成	地質構造モデル
透水係数による水理地質区分の作成	地質構造モデル
透水係数による水理地質区分の作成	透水係数による水理地質区分データ
水理地質モデルの作成	水理地質モデル
物性値データの作成	物性値情報
境界条件データの作成	境界条件情報
初期条件データの作成	初期条件情報

(3) プロトタイプシステムのテーブル構造

プロトタイプシステムのテーブル構造を図 2.5.2-3に示す。

プロトタイプシステムのテーブルは、データ関連テーブル、モデル構築支援関連テーブル、システム管理に必要なマスタテーブルの3種類に分類される。データ関連テーブルでは、登録データの属性情報や品質管理情報、データファイル名の情報等を管理する。モデル構築支援関連テーブルでは、計画立案やシナリオに関連する情報やデータとシナリオとのリンク情報等を管理する。システム管理に必要なマスタテーブルでは、ワークやワークフローの情報等を管理する。各テーブルで管理する情報を表 2.5.2-3に整理した。

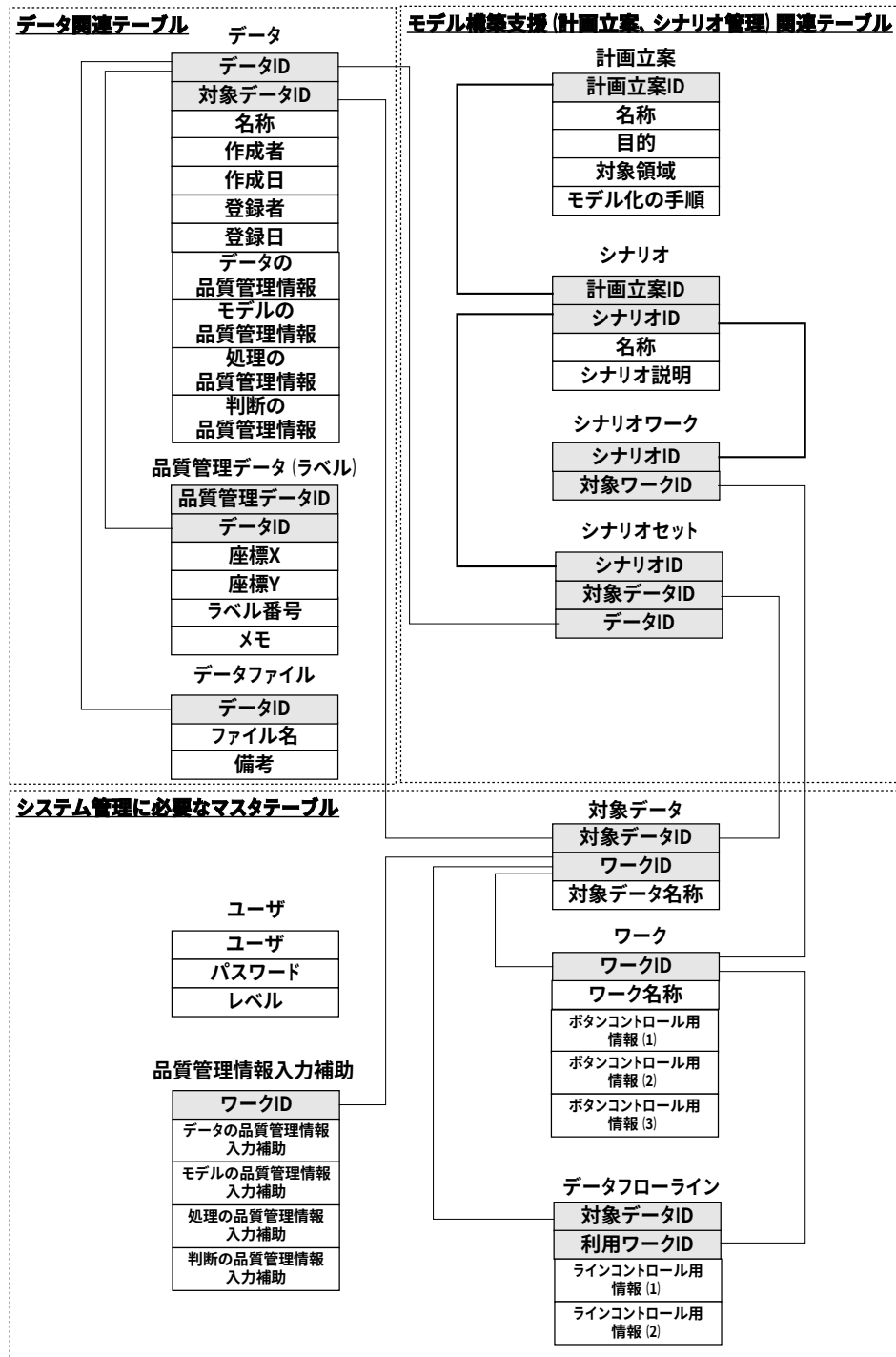


図 2.5.2-3 プロトタイプシステムのテーブル構造

表 2.5.2-3 各テーブルで管理するデータ

テーブルの種類	テーブルの名称	管理するデータ
データ関連テーブル	データ	データの属性情報、品質管理情報
	品質管理データ (ラベル)	BMP ファイル上に添付するラベルと共に登録する品質管理情報
	データファイル	データファイル名、データファイルの備考
モデル構築支援 関連テーブル	計画立案	計画立案に関わる情報（名称、目的、対象領域等）
	シナリオ	シナリオに関わる情報（名称、説明）
	シナリオワーク	シナリオの中で指定した利用ワークのインデックス
	シナリオセット	シナリオとリンク付けされている登録データのインデックス
システム管理に 必要なマスタ テーブル	ユーザ	システムにログイン可能なユーザの情報
	品質管理情報入力 補助	ワーク毎の品質管理情報として入力すべき項目
	対象データ	各ワークで対象としているデータの種類
	ワーク	各ワークの名称と画面上でワークを示すボタンに関わる情報
	データフローライ ン	画面上でワークフローを示すラインに関わる情報

(4) プロトタイプシステムの機能

プロトタイプシステムのログイン画面を図 2.5.2-4に示す。ログイン名及びパスワードにより認証を行う。ユーザの種類として下記の2種類を設けた。

- ・ 管理者ユーザ…プロトタイプの全ての操作（データの登録、加工、閲覧、シナリオの作成）が可能。
- ・ 一般ユーザ…データの閲覧のみ可能。



図 2.5.2-4 ログイン画面

プロトタイプシステムのメインメニューを図 2.5.2-5に示す。“メニュー”より“データ登録”，“モデル構築支援”，“データ検索”のいずれかを選択する。

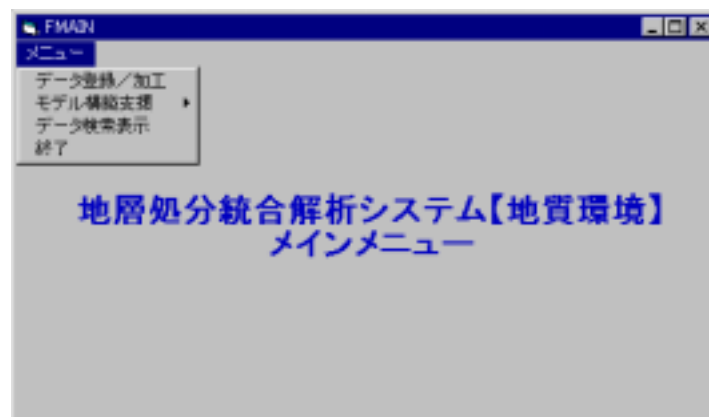


図 2.5.2-5 メインメニュー

(i) データ登録

メインメニュー，“メニュー”より“データ登録”を選択することにより，ワークフロー画面（データ登録／加工モード）が起動される（図 2.5.2-6，図 2.5.2-7）。ワークフロー画面は，昨年度までに検討した地質／水理モデル構築に至るまでのワークの流れを表したものとなっている。

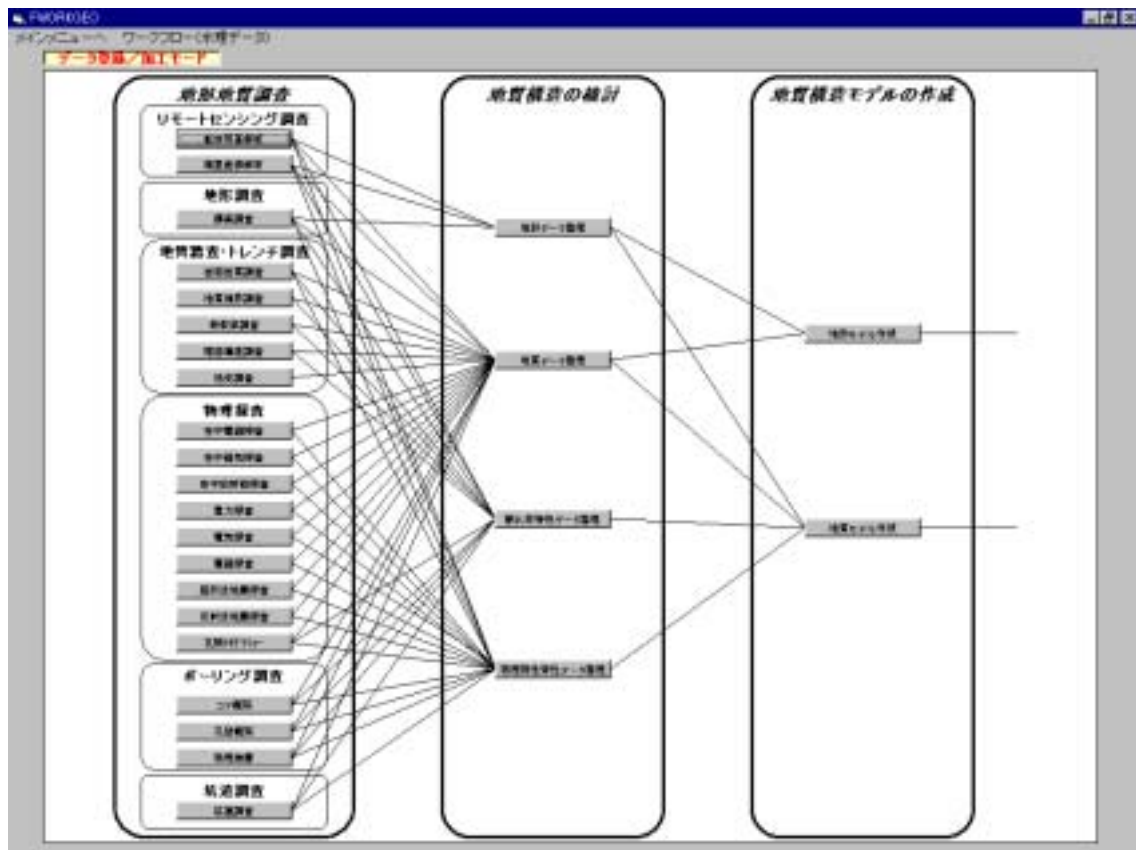


図 2.5.2-6 ワークフロー画面（地質データ）

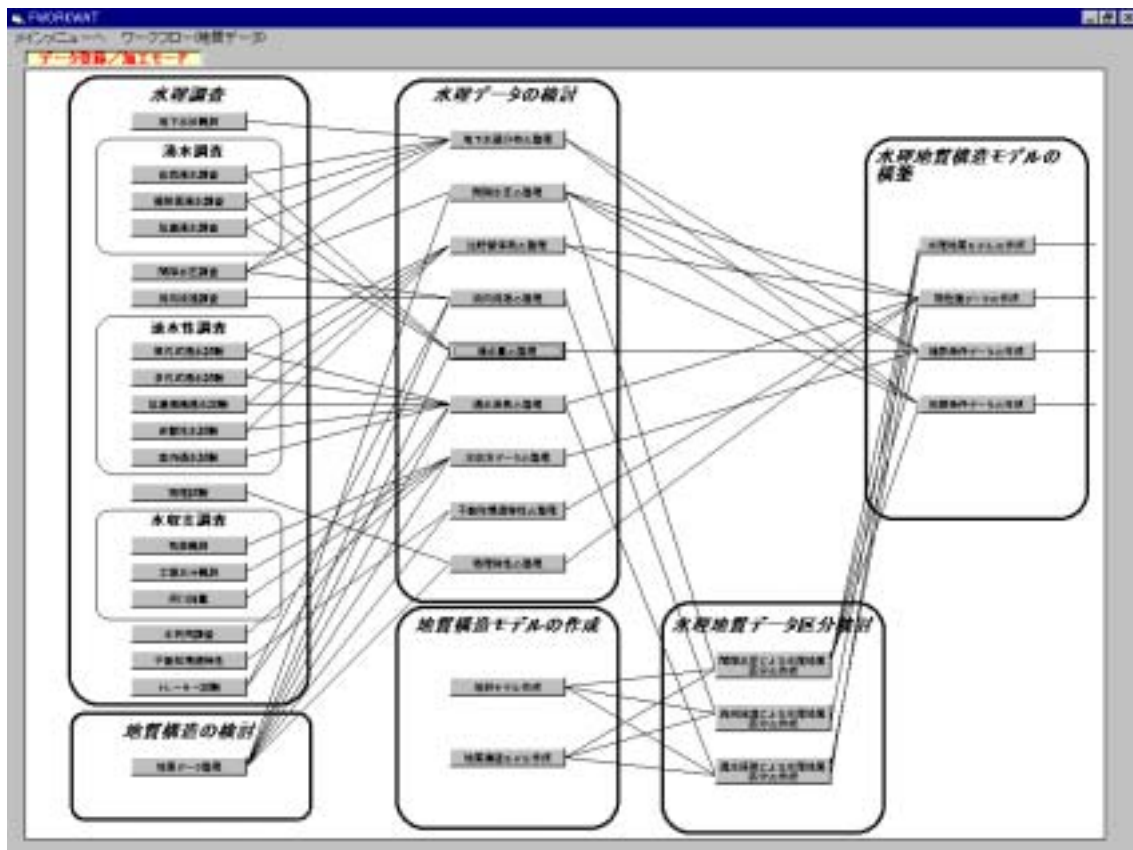


図 2.5.2-7 ワークフロー画面（水理データ）

ワークフロー画面においては、昨年度までに検討した各ワークに関する説明を参照可能とする。ポップアップメニュー“ワークの説明”の選択により「ワーク内容参照」画面が起動される（図 2.5.2-9）。



図 2.5.2-8 ワークフロー画面（“ワークの説明”選択時）



図 2.5.2-9 ワーク内容参照画面

ワークに属する対象データをインデックスとして、データ登録を行う。ワークフロー画面よりワークを指定し、“データ登録／加工”メニューからさらに、そのワークに属する対象データを選択することにより「データ登録」画面が起動される。



図 2.5.2-10 ワークフロー画面（“データの登録／加工”選択時）

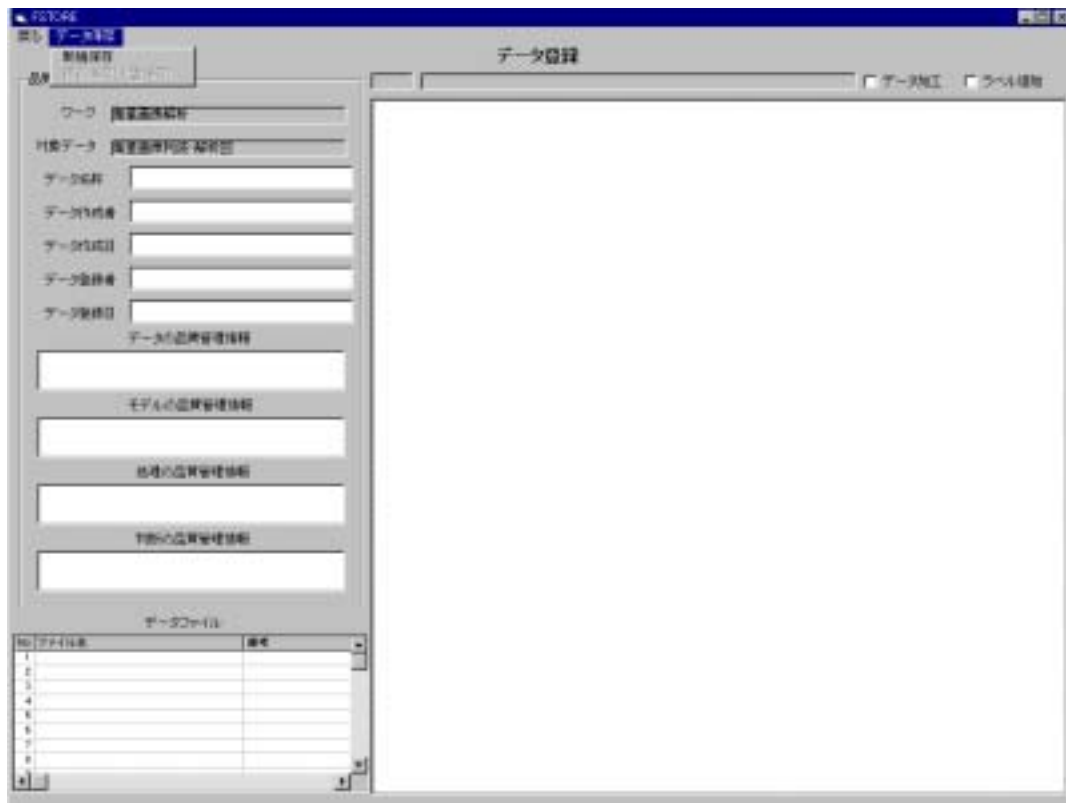


図 2.5.2-11 データ登録画面

本プロトタイプシステムでは、ファイル単位（BMP ファイル，EXCEL ファイル，TEXT ファイル）のデータ登録が可能である。データの品質保証確保のため，データファイルと合わせて，下記に示す品質管理情報の登録する。

- ・ データ名称・・・データのタイトルを入力する。
- ・ データ作成者・・・データの作成者を入力する。
- ・ データ作成日・・・データが作成された日（yyyy/mm/dd の形式）を入力する。
- ・ データ登録者・・・データの登録者を入力する。
- ・ データ登録日・・・データが登録された日（yyyy/mm/dd の形式）を入力する。
- ・ データの品質管理情報・・・データのインデックス情報などを入力する。
- ・ モデルの品質管理情報・・・適用した解析モデル（式）などを入力する。
- ・ 処理の品質管理情報・・・データの重み付け・取捨選択の有無などを入力する。
- ・ 判断の品質管理情報・・・データの処理を行う際の判断根拠などを入力する。

上記のデータの品質管理情報，モデルの品質管理情報，処理の品質管理情報，判断の品質管理情報については，各ワークにより入力する内容が異なる。本システムでは，各ワーク別の品質管理情報を入力する際のナビゲーション情報を表示することとした（図 2.5.2-12参照，品質管理情報を入力するテキストボックスを右クリックし，“説明(HELP)”を選択することにより，メッセージが表示される）。



図 2.5.2-12 品質管理情報入力ナビゲーション機能

登録するデータファイルは、自 PC あるいはネットワークに接続された PC の既存のファイルを指定する。操作は、図 2.5.2-13（上図）に示すポップアップメニューより行う。ポップアップメニューの項目を下記に示す。

- ・ 指定…登録するデータファイルを指定する。
- ・ 参照…登録するデータファイルの内容を参照（画面右部分に表示）する。
- ・ 消去…指定をクリアする。

データファイルの指定及び参照の操作の流れを図 2.5.2-13， 図 2.5.2-14に示す。



図 2.5.2-13 データファイルの指定



図 2.5.2-14 データファイルの内容の参照

データファイルの参照例を以下に示す(図 2.5.2-15, 図 2.5.2-16, 図 2.5.2-17)。

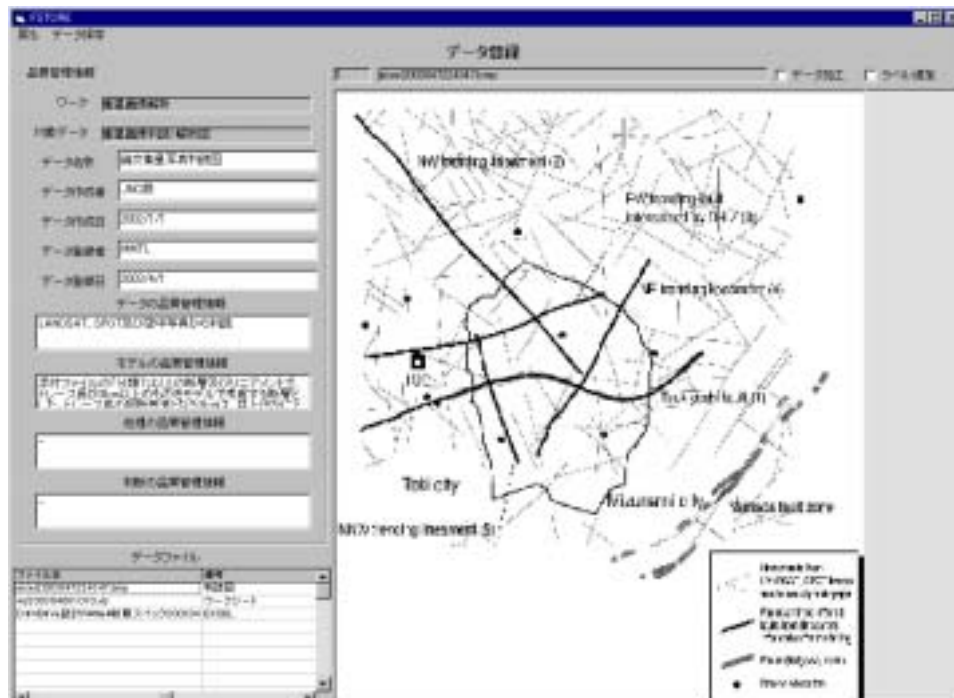


図 2.5.2-15 データファイルの参照例 (BMP ファイル)

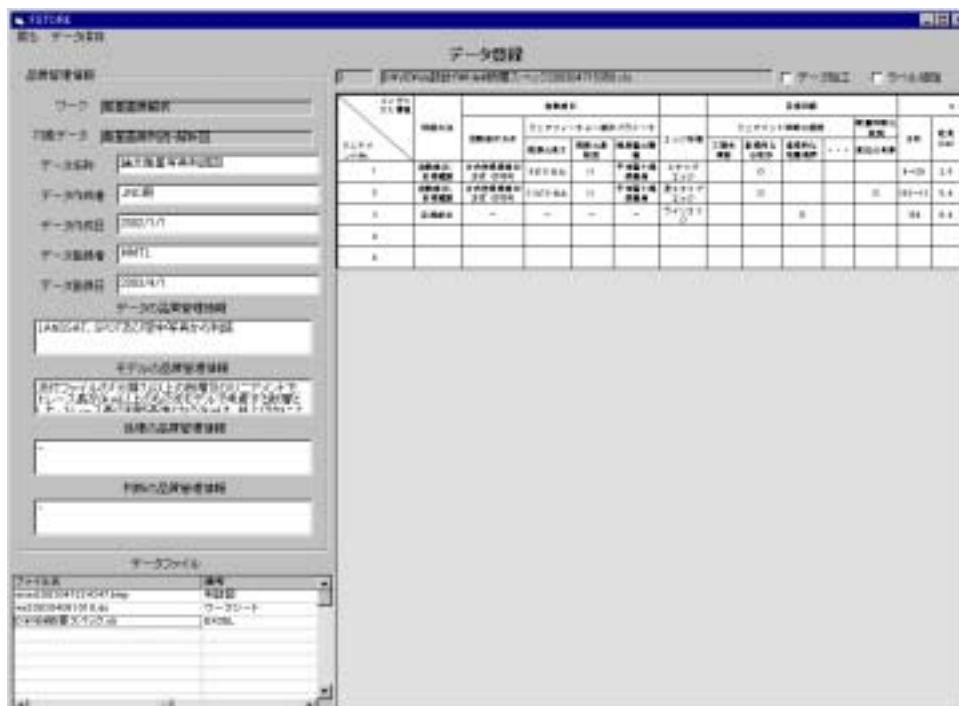


図 2.5.2-16 データファイルの参照例（EXCEL ファイル）

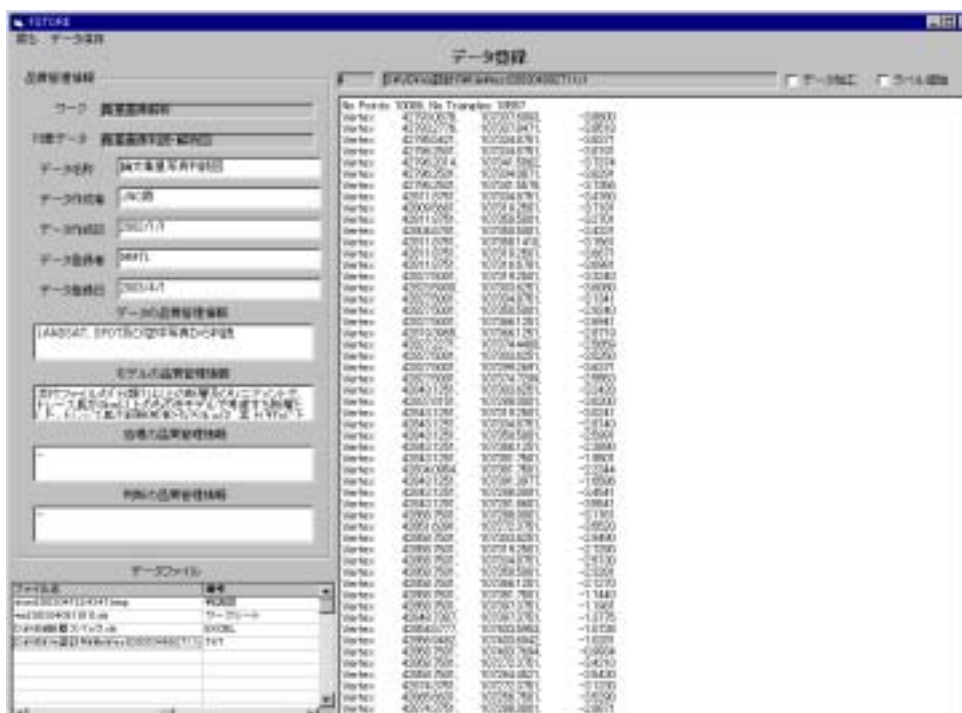


図 2.5.2-17 データファイルの参照例（TEXT ファイル）

参照したデータファイルが BMP ファイルの場合，BMP ファイル上にラベルを添付することが可能である。これにより，添付した位置における品質管理情報を管理することができる（図 2.5.2-18）。



図 2.5.2-18 登録データファイル（BMP ファイル）上にラベルを添付

埋め込みオブジェクトによる外部アプリケーションの活用により、データファイルを加工することも可能である。データファイルの加工画面を以下に示す（図 2.5.2-19, 図 2.5.2-20, 図 2.5.2-21）。加工画面は、データ登録画面（図 2.5.2-11）の右上にある“データ加工”をチェックすることにより起動される。

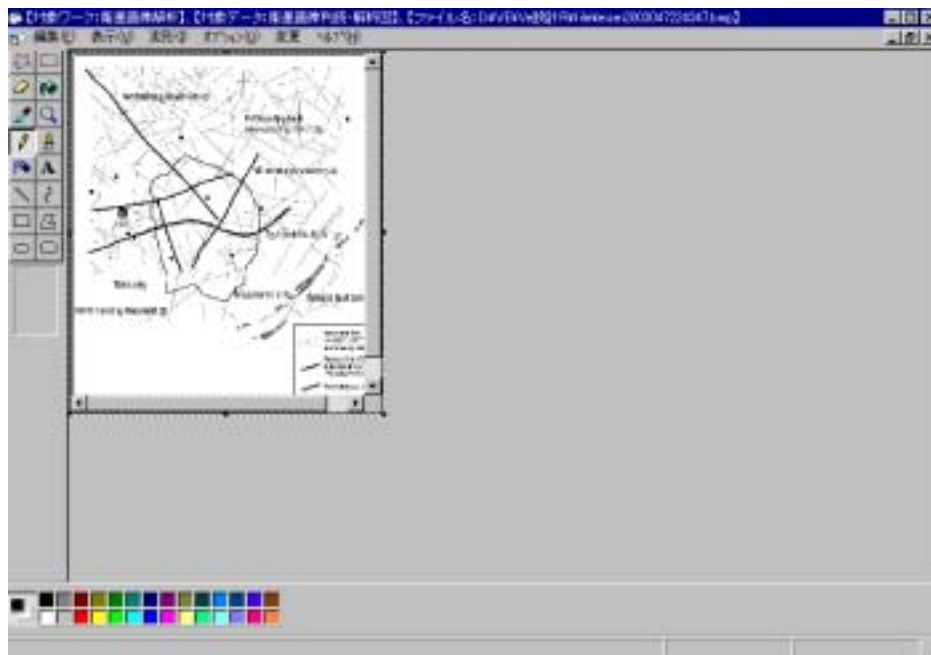


図 2.5.2-19 BMP ファイル加工画面

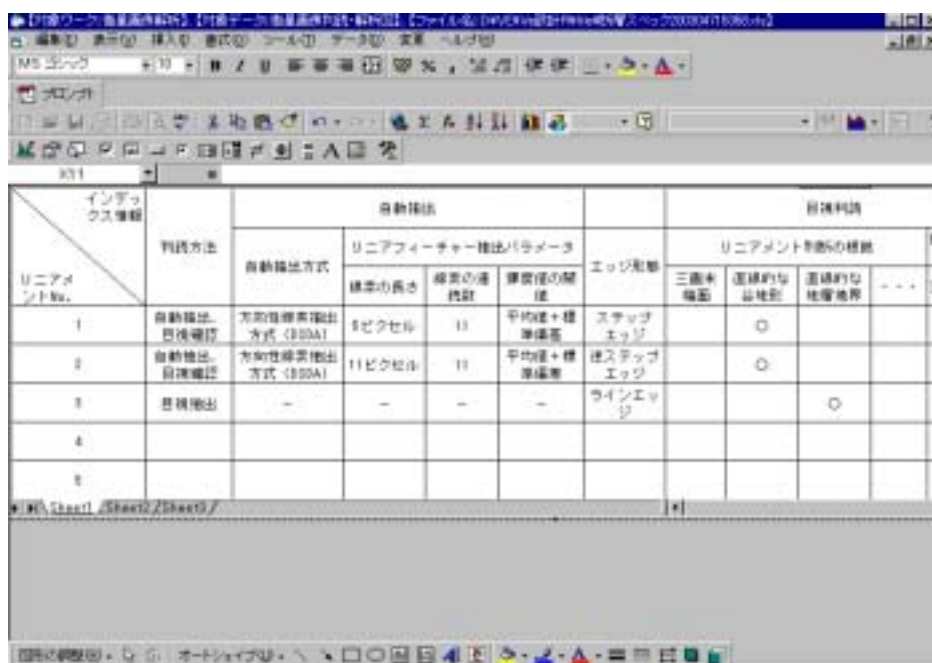


図 2.5.2-20 EXCEL ファイル加工画面

置するシナリオも連鎖削除される。削除対象となる計画立案は、計画立案指定画面より指定する。

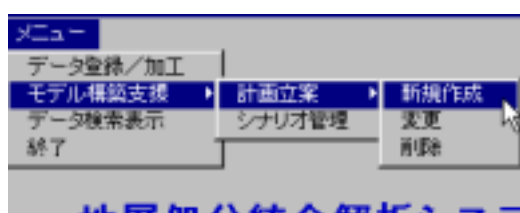


図 2.5.2-23 メインメニュー（計画立案選択時）

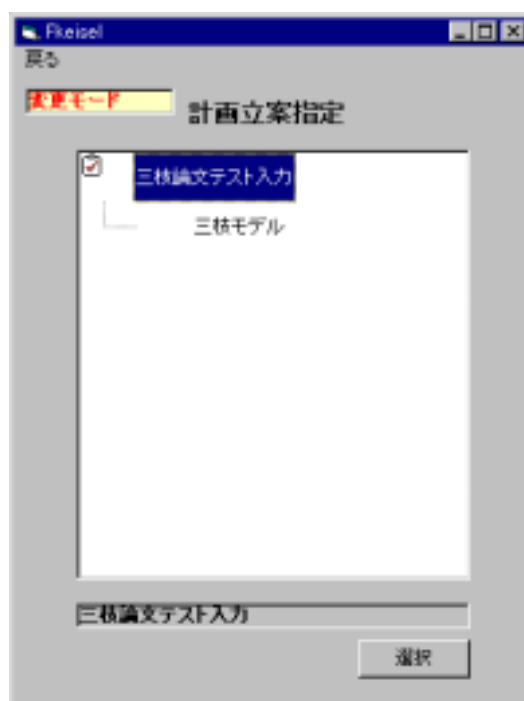


図 2.5.2-24 計画立案指定画面（変更モード）

メインメニューの“メニュー”→“モデル構築支援”→“計画立案”から、さらに“新規作成”を選択することにより、計画立案作成画面（図 2.5.2-25）が起動される。この画面において、計画立案に関わる情報として下記の項目を入力する。

- ・ 目的・・・モデル化作業の背景（過去の指摘，解決すべき課題，等），及びモデル化作業の目的（解決すべき課題への対応策）を入力する。
- ・ 作業方針（対象領域）・・・モデル化の対象領域（位置，境界線，地形，等）を入力する。
- ・ 作業方針（モデル化の手順）・・・モデル化の際の想定される手順や考慮すべき支配要因を入力する。
- ・ シナリオ・・・モデル構築に利用する調査項目（ワーク）を指定し，シナリオの名称と説明を設定する。

計画立案とシナリオは，図 2.5.1-2に示すような階層関係を取り，一つの計画立案に対し複数のシナリオの設定が可能である。



図 2.5.2-25 計画立案作成画面

シナリオは、図 2.5.2-26に示すポップアップメニューから“新規作成”を選択後、起動される利用ワーク指定画面（図 2.5.2-27）において、モデル構築に利用するワークを指定することにより作成される。利用ワーク指定画面においては、各シナリオの識別のため、シナリオの名称と説明もあわせて登録する。

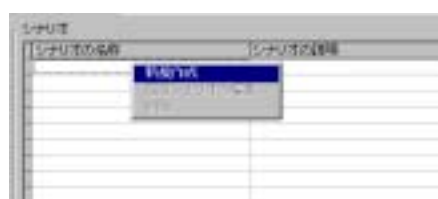


図 2.5.2-26 シナリオ操作に関わるメニュー（1）

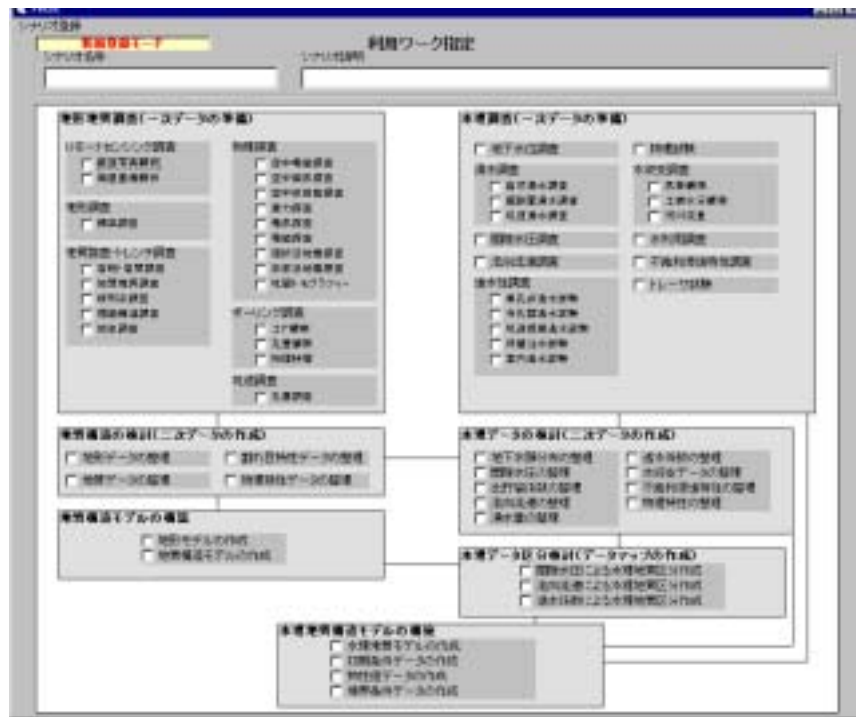


図 2.5.2-27 利用ワーク指定画面

一旦登録した既存シナリオに対して、さらに下記の操作が可能である。

- ・ 既存シナリオの変更・・・図 2.5.2-28に示すポップアップメニューより，“既存シナリオの編集”を選択し，起動される利用ワーク指定画面において，利用ワークを変更後，“シナリオ登録”メニュー（図 2.5.2-29）より“既存シナリオの変更”を選択する。
- ・ 既存シナリオを基に新たなシナリオを作成・・・図 2.5.2-28に示すポップアップメニューより，“既存シナリオの編集”を選択し，起動される利用ワーク指定画面において，利用ワークとシナリオ名称を変更後，“シナリオ登録”メニュー（図 2.5.2-29）より“新たなシナリオとして登録”を選択する。
- ・ 削除・・・図 2.5.2-28に示すポップアップメニューより，“削除”を選択する。



図 2.5.2-28 シナリオ操作に関わるメニュー（2）



図 2.5.2-29 利用ワーク指定画面（シナリオ登録メニュー）

(b) シナリオ管理

メインメニューの“メニュー”から，“モデル構築支援”，“シナリオ管理”を選択することにより，シナリオ指定画面（図 2.5.2-30）が起動される。この画面において，登録データとリンク付けを行うシナリオを指定する。



図 2.5.2-30 シナリオ指定画面

シナリオ指定後，ワークフロー画面がシナリオ管理モードで起動される（図 2.5.2-31）。この画面において，対象となるワーク及びワークに属する対象データを選択する（図 2.5.2-32）。なお，ワークフロー画面では，利用ワーク指定画面（図 2.5.2-27）で指定されたワークのボタンのみ色が塗られ選択可能となる。また，ワークにデータがセット（リンク付け）されると，上位のワークへのデータフローのパスが赤く塗られる。

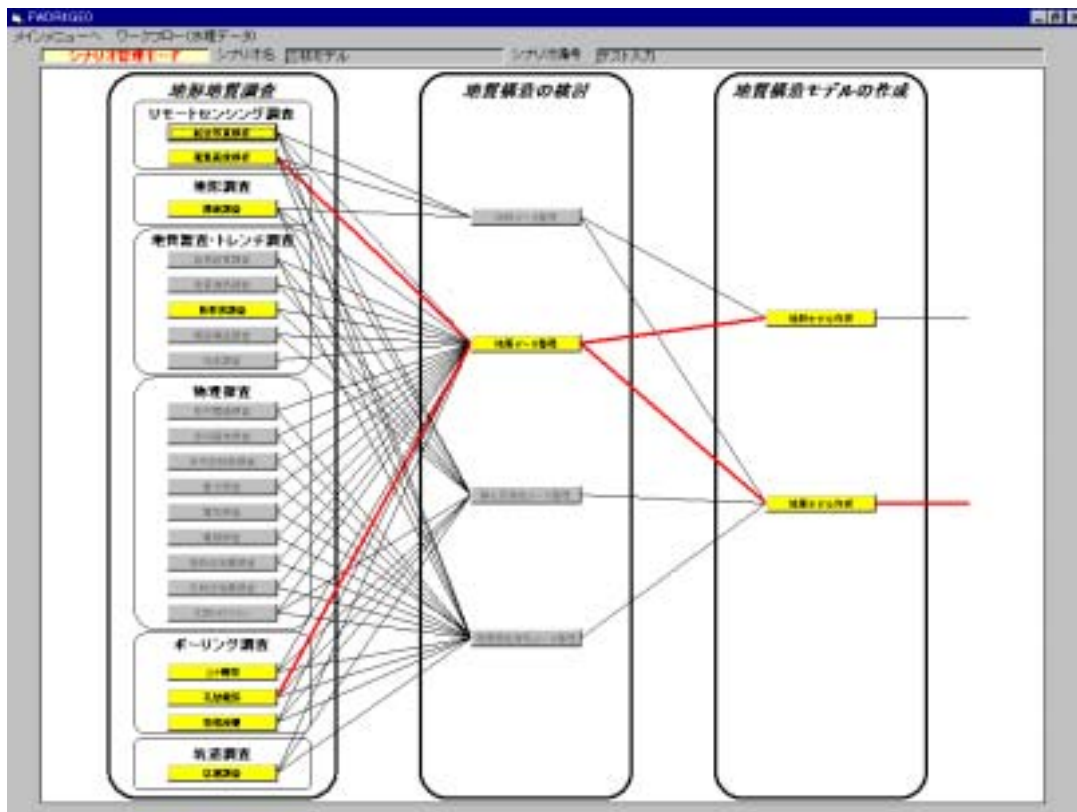


図 2.5.2-31 ワークフロー画面（“シナリオ管理モード”）



図 2.5.2-32 ワークフロー画面（“シナリオ管理”選択時）

ワーク、対象データの選択後、シナリオ設定画面が起動される（図 2.5.2-33）。

シナリオ設定画面において、登録済みデータのデータ名称が一覧表示される。一覧から、シナリオとリンク付けを行うデータを選択する。なお、この画面から、各データファイルの内容を確認することも可能である（画面左下にサムネール表示、さらに“詳細”ボタン押下により、詳細な内容を参照可能）。

また、“整合性チェック”ボタンを押下することにより、シナリオとデータのリンク付けを行うに際し、矛盾がないかどうかのチェックが行われる¹。チェック終了後、警告メッセージ（整合性ルールに則らない項目）のリストが表示される。ただし、警告メッセージを無視し、リンク付けを行うことも可能とする。“設定”ボタン押下により、登録データがシナリオにセットされる。

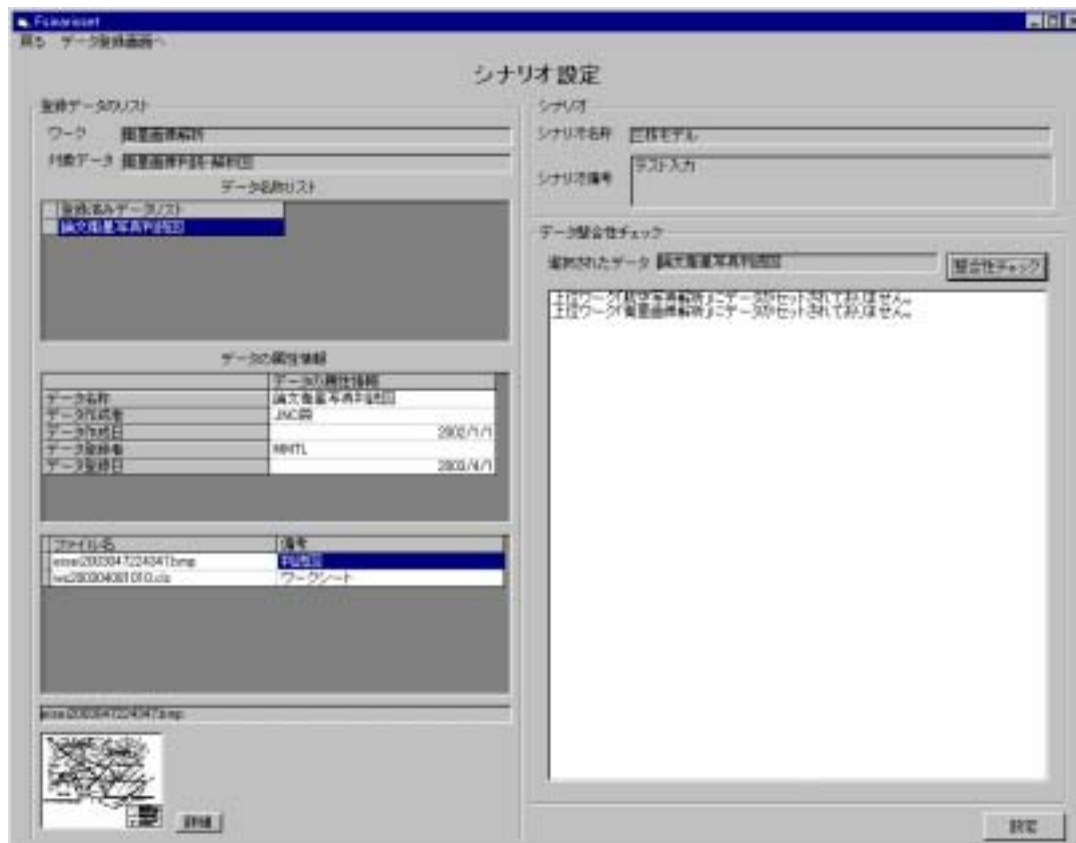


図 2.5.2-33 シナリオ設定画面



図 2.5.2-34 ワークフロー画面（“セットされたデータの閲覧”選択時）

なお、シナリオにセットされたデータは、以下の手順で内容の確認が可能である。

¹ 整合性チェックについて：上位ワークのデータがシナリオにセットされていないに関わらず、下位ワークのデータをシナリオにセットしようとした場合、警告メッセージを表示する。

- ・ ワークフロー画面のポップアップメニュー“セットされたデータの閲覧”を選択
- ・ 起動される個別データ指定画面の一覧からデータを指定後“選択”ボタン押下
- ・ 起動されるデータ表示画面において確認



図 2.5.2-35 個別データ指定画面

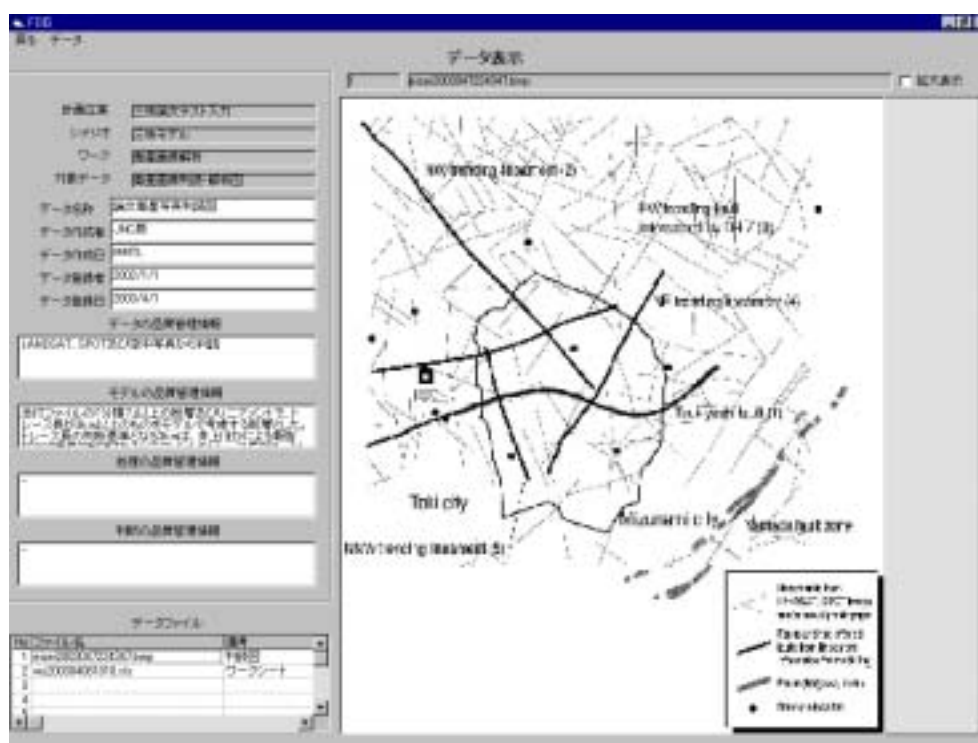


図 2.5.2-36 データ表示画面

データ表示画面においては、画像ファイルの拡大表示が可能である。

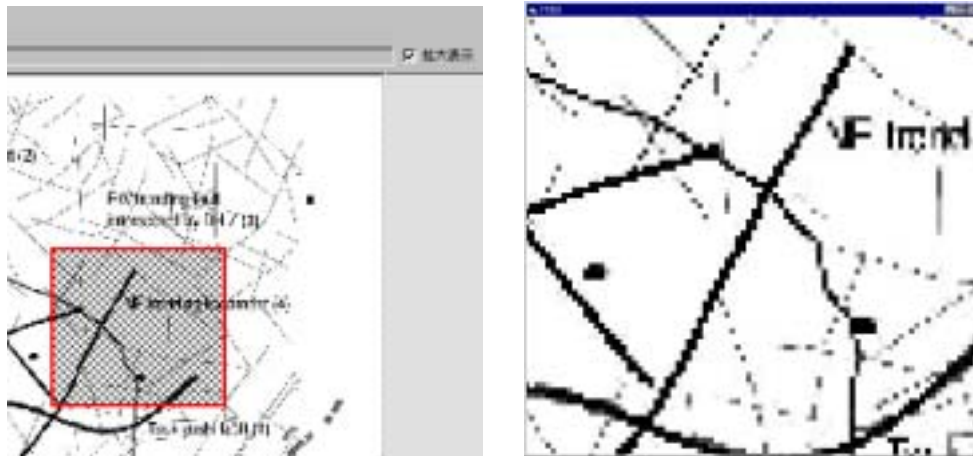


図 2.5.2-37 データ表示画面（拡大表示）

(iii) データ検索表示

メインメニューの“メニュー”より“データ検索表示”を選択すると、データ検索表示画面が起動される（図 2.5.2-38）。

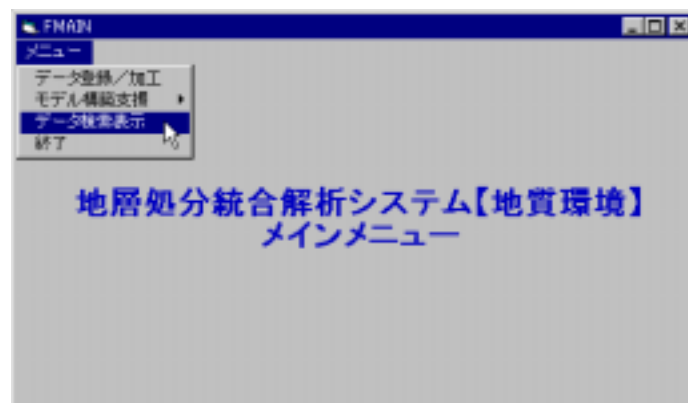


図 2.5.2-38 メインメニュー（データ検索表示選択時）

データ検索画面においては、計画立案、シナリオ、ワーク、登録日等をキーにデータ検索を行うことが可能である。検索条件を定め、検索ボタンを押下することにより、条件に合致するデータが検索結果の表に一覧表示される。一覧から、データを選択することにより、データとリンク付けされているシナリオを確認することが可能である。さらに、この一覧からデータを選択し、“表示”ボタン押下により、データ表示画面が起動され、データを閲覧することが可能である。

3 おわりに

本研究では、昨年度に続いて統合解析システムの開発に資する事を目的として、第2次取りまとめに向けて構築されてきた地質環境の調査技術ならびに地質環境モデルの構築技術を整理し、今後建設が進められる深地層の研究施設への適用性を考慮して、これらをデータベースとして体系化するための検討を行った。

まず地質構造モデルの構築技術の体系化を行った。体系化を行う対象は、地球化学物性、及び岩盤熱・力学物性モデルとした。地質構造モデルの構築手順、データ変換処理、及びデータの整理を行い、さらに地質環境モデル構築の品質保証方法の検討を行い、地質環境モデルの構築に関する情報処理の体系化を行った。検討結果をデータベース設計への反映を容易にするため、情報処理の流れをワーク（作業）とデータ（作業に入出力される情報）に分けて表現するワークフロー図の形式で整理した。

次に地質環境モデルの構築に関する情報処理の体系化結果に基づいて、統合解析システムで扱うデータ、及び情報の範囲を検討して、データベース構造の設計検討を行った。さらに設計検討の結果からプロトタイプシステムを開発した。プロトタイプシステムは地質環境モデルの構築のワークフローに JNC 東濃三枝殿の作成した水理地質構造モデルの作成フローを適用し、設計検討の妥当性や問題点の洗い出しを目的とした統合解析システムの雛形である。プロトタイプシステムの試作結果を設計検討に反映し、今後のシステム設計の課題を抽出した。

4 今後の課題

本研究の今後の課題を、地質環境モデル構築技術の体系化の観点とシステム構築の観点から整理した。

■ 地質環境モデル構築技術の体系化

今年度、地球化学物性、及び岩盤熱・力学物性に関する地質環境モデルの構築技術に関する検討を行ったが、さらに以下の検討が必要と考えられる。

- ① 各ワークシートを充実させる。
- ② 地下水流動解析から一歩進んで性能評価計算実施までのフローを作成する。

■ システム構築

プロトタイプを試作を通じて挙げた課題を整理した。

・ システム全体

- ① システム構成として、WEB ブラウザを端末としたサーバクライアントシステムを検討する。
- ② 詳細にユーザーをランク分けし、権限に応じて操作が制限されるようにする。
- ③ ワークフロー画面において、地質分野、水理分野という形で分けずに、全体を統括したワークフローが一目で分かるような表示を用意する。
- ④ ワークフロー画面において、ワークの追加、ワークフローのラインの追加をユーザーが任意に行えるようにする。

・ データ入出力

- ⑤ WEB ブラウザを端末としたサーバクライアントシステムの中で、WORD, EXCEL, BITMAP, TEXT ファイルの取り扱い（ダウンロード、アップロード）可能とする。
- ⑥ 複数データの効率良い登録方法（同じワークに属する複数データの階層を考慮したリンク等）を検討する。
- ⑦ ワークシートをデフォルトの登録データとして用意し、ワークシートの書き換えができるようにする。

・ データ検索表示

- ⑧ 位置座標（緯度・経度／相対座標）とともにデータを管理し、位置図等を利用したデータ検索が可能となるようにする。
- ⑨ 国土地理院発行の地図データを読み込めるようにする。

・ シナリオ管理

- ⑩ 品質管理情報を反映させた整合性チェックやデータの内容に踏み込んだ整合性チェックを検討する。
- ⑪ シナリオの更新履歴を管理する。
- ⑫ 下位のワークのデータが更新された時、上位のワークのデータにも更新内容が反映されるようにする工夫する。

⑥については、下記の対策案が講じられた。

- ・ 構造を決めたデータの入る箱を用意して、その構造間でデータが相互に参照可能とする。
- ・ データに対するリンク機能で自由な構造を構築できるようにして、データが相互に参照可能とする。

以上の課題は、今後のシステム構築に反映させる必要があると考えられる。

5 参考文献

(第2章)

- 1) 小出馨, 杉原弘造, 他, “花崗岩を対象とした深部地質環境の調査技術開発の課題と現状ー測定データの品質保証の観点で構築した地下水調査法の提案ー”, 資源と素材, Vol.117, p.785-793 (2001)
- 2) 中野勝志, 竹内竜史, 他, “1,000m 対応水理試験装置の結晶質岩への適用例, 第31回地盤工学研究発表会平成8年度発表講演集”, pp.2145-2146 (1996)
- 3) 三枝博光, 前田勝彦, 稲葉薫, “水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価”, 地盤工学会, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム, 発表論文集別冊, pp.299-308 (2001)
- 4) 三枝博光, 前田勝彦, 稲葉薫, “広域地下水流動研究実施領域における水収支観測結果と地下水流動スケールの検討”, サイクル機構技報, No.16, pp.137-147 (2002)
- 5) NTT 情報通信網研究所, データベース概念設計, 阿部出版 (1993)