

土木研究所報告

第150号

公共事業の計画策定手法に関する研究 (I) 岩松 幸雄... (1)
—計画マトリックス法と地域マクロモデルを中心にして— 吉川 勝秀

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究..... 駒田 敬一... (45)
矢作 枢
岡原美知夫

昭和53年3月

建設省土木研究所

公共事業の計画策定手法に関する研究(Ⅰ) —計画マトリックス法と地域マクロモデルを中心にして—

岩 松 幸 雄 *
吉 川 勝 秀 **

A study on methods of making schemes about public undertakings
centering around a causal relation matrix method and econometrical macro-model.

by Sachio Iwamatsu
Katsuhide Yoshikawa

Synopsis:

Impacts of public undertakings in conjunction with ministry of construction to communities were studied synthetically from a viewpoint of systems analysis. In this paper, a method to represent causal relations collectively, named causal relation matrix method, was proposed first. A process to express effects of public utilities by the mathematical model was made clear and the characteristic of a composed model was clarified subsequently. Two case studies put these presentations into practice. In case study I, impacts of a public work were examined versatily, and chains of dependence between enterprise and environmental factors were represented by a causal relation matrix. And recent techniques of examination, analysis and forecast were surveyed and pigeonholed as reference manuals. In case study II, an econometrical method was applied to simulate the effects of public investment. A developed model describes the impact of various kinds of public policies to production and living conditions expressly.

Key words

Systems analysis, Causal relation matrix method, Reference manual, Public investment, Econometrical method, System dynamics method, Input output analysis, Balanced I/O method.

要 旨

本研究は、建設省関連の公共事業が地域社会に及ぼす影響を、システム分析的な観点から総合的に把握したものである。本報告では、まずそのための方法論(計画マトリックス手法)を提案した。次に、事業の影響をモデル化して把握する場合のプロセスを明確にし、作りあげられるモデルの特徴を明らかにした。

これらの考え方のもとで、ケース・スタディⅠでは事業の影響を多角的に調査し、計画マトリックスにより因果関係を総合的に把握した。その因果関係を定量的に把握するために用いられている調査・分析・予測方法を体系的に整理し、マニュアルの形にとりまとめた。

ケース・スタディⅡでは、公共事業の多方面への影響のうち、特に生産環境や生活環境等へのマクロ的な影響を把握するために、地域マクロモデルを作成した。

* 土木研究所企画部システム課長 工博
** 土木研究所河川部都市河川研究室研究員(前システム課研究員)

キーワード

システムズ・アナリシス, 計画マトリックス手法, マニュアル, 公共投資, 計量経済学的手法, システム・ダイナミックス法, 産業連関分析, バランスドI/O法

目

次

1. 序	(3)	(3) 本モデルの概要	(17)
2. 従来の研究と本研究の基本的立場	(3)	(1) モデル作成の目的	(17)
(1) 従来研究	(3)	(2) モデルの基本構造	(18)
(2) 本研究の基本的立場と特徴	(4)	(i) 地域分割	(18)
3. 影響を総合的に把握するための方法の提示	(4)	(ii) 基本的な部門構成と相互関係	(18)
(1) 影響の総合的な把握	(4)	(iii) 諸量の把握方法	(19)
(i) 第1 step; 影響項目および被影響項目のリストアップ	(4)	(iv) モデルの基本的なブロック・チャート	(20)
(2) 第2 step; 因果関係の把握(計画マトリックス法の提案)	(4)	(v) 構造推定とデータ	(20)
(3) 第3 step; 因果連鎖の体系化	(5)	(vi) 本モデルの特徴	(20)
(4) 第4 step; 影響の定量的な把握	(5)	(3) モデルの細部構造	(20)
(2) モデル作成の過程	(5)	(i) フロー・チャート	(20)
(1) 第1 step; 取り扱い項目の決定	(5)	(ii) 構造式の推定方法と使用データ	(22)
(2) 第2 step; 因果フローの推定	(5)	(iii) 各セクターと各サブモデルの概要	(22)
(3) 第3 step; モデル化手法の決定と必要データの収集	(5)	ア) 各セクターの概要	(22)
(4) 第4 step; モデルの作成と検証	(6)	① 政策セクター	(22)
(5) 第5 step; 影響主体の影響シミュレーションと影響主体の評価	(6)	② 社会資本ストック・セクター	(22)
4. ケース・スタディ I (事業計画における調査と分析・予測)	(6)	③ 最終需要セクター	(23)
(1) 概要	(6)	④ 生産能力(生産能力関数)推定セクター	(23)
(2) 調査・分析・予測の種類	(6)	⑤ 道路セクター	(23)
(3) 調査・分析・予測の一事例	(8)	⑥ 生産・生活環境セクター	(23)
(1) 事業計画マトリックス	(8)	イ) 各サブモデルの概要	(23)
(2) 調査・分析・予測手法の体系的整理	(11)	⑦ 必要生産量推定サブモデル(Balanced I/O モデル)	(23)
(i) 計画諸元(影響項目)の一覧表	(11)	⑧ 生産調整サブモデル	(26)
(ii) 被影響項目・環境要因項目の一覧表	(11)	⑨ 環境サブモデル	(26)
(iii) 調査手法のライブラリー	(11)	⑩ 水供給サブモデル	(26)
(iv) 分析・予測手法のライブラリー	(13)	(4) モデルの検証とシミュレーション	(27)
(v) 分析・予測手順のフロー・チャート	(13)	(1) モデルの検証	(27)
(vi) 計画諸元の評価・決定リスト	(13)	(i) 検証の考え方	(27)
(4) まとめ	(15)	(ii) 検証の方法	(27)
5. ケース・スタディ II (公共事業が地域社会に及ぼす影響を把握するための地域マクロ・モデル)	(15)	(iii) 検証結果	(27)
(1) 概要	(15)	(2) シミュレーション	(28)
(2) 従来研究と本研究の特徴	(16)	(i) シミュレーションの方法	(28)
(1) 従来研究	(16)	(ii) シミュレーションのパターン	(28)
(2) 本研究の基本的立場と特徴	(17)	(iii) シミュレーション結果と考察	(28)
		(5) まとめ	(31)
		(1) ケース・スタディ II の結論	(31)
		(2) 今後の課題	(32)
		6. 結 論	(32)
		参 考 文 献	(32)

【付 録】

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 付録の内容と構成…………… (33) | 3. Data 出典一覧表…………… (40) |
| 2. 構造式とサブモデルの詳細…………… (33) | 4. 参考文献の補足 (地域モデルの分類)…………… (43) |
| (1) 構造式…………… (33) | (a) モデルの分類方法…………… (43) |
| (2) 各サブモデル…………… (39) | (b) 参考文献一覧表…………… (43) |

1 序

建設事業の大規模化と、それを取りまく環境の変化、さらには価値観の多様化などにより、事業に対する多様な要請と、様々な観点からの評価がなされるようになってきた。このような状況下で、適正な公共事業のあり方を検討するためには、事業の及ぼす多方面への影響を総合的に把握し、それをふまえた上で計画を策定することが重要である。

公共事業の及ぼす影響を把握するために行なわれた従来の研究は、何らかの視点 (例えば環境面、経済面等) から事業の影響にアプローチしたものが多く、事業の影響を総合的に把握したものは少ないように思われる。すなわち、経済の高度成長期には経済面や技術面に重点が置かれ、費用効果分析がその主流をなしていた。しかし、最近ではこれらの費用効果分析の外に、環境問題をはじめとする地域社会への影響が相対的に重視されるようになってきた。そしてそれに対処するために、様々な観点から公共事業の影響を把握するための方法論が提案され、必要に応じてそれらが活用されている。例えば、主として経済面への影響を把握するための計量経済学的手法や、環境面への影響を把握するための種々の環境アセスメント手法等がこれにあたる。

しかしながら、公共事業の影響をある面に限定して議論するだけでは不十分であり、多方面にわたる影響の中で、そのような手法により把握された影響を位置づけることが重要である。そのためには、

- ① 事業が及ぼすと考えられる影響 (項目) をできるかぎり落なく網羅的に調査する。
- ② そのようにして拾いあげられた事業の影響 (項目) を、他との整合をとりながら精度よく推定する。
- ③ 把握された影響の程度をもとにして、事業の適正なあり方を検討する。

ことが要請される。

本報告では、まず公共事業の多方面にわたる影響を総合的に把握するための方法論 (計画マトリックス手法の提案、モデル化の過程の明示) を提示する。次に、それを道路事業・河川改修事業・ダム事業に適用してケース

・スタディを行なった結果を報告する (ケース・スタディ I)。このケース・スタディでは、(i) 事業の及ぼす影響項目の網羅的リストアップ (従来の調査事例、現場のプランナーの意見等を参考にし、将来問題になると思われる項目も含む)、(ii) 因果関係の把握 (事業計画マトリックスの作成; (i) と同様の方針で作成)、(iii) その影響の仕方 (程度、強弱、時間遅れ等) を把握するために用いられている調査、分析・予測手法の体系的整理を行ない、ライブラリーの形にとりまとめた。

最後に、ケース・スタディ II として、そのようにリストアップされた影響項目のうち、特に公共事業の生産環境や生活環境等へのマクロ的な影響を把握するために作成した「地域マクロ・モデル」について報告する。

2 従来の研究と本研究の基本的立場

(1) 従来の研究

公共事業の影響を把握するための調査・研究は数多くなされてきた。例えば、事業の影響を主として経済面で把握したものとしては、表-1 (a) に示すようなものがある。また、環境面への影響を把握したものとしては表-1 (b) に示すようなものがある。

表-1 従来の研究例

(a) 経済への影響を取り扱った研究例	(b) 環境への影響を取り扱った研究例
・ 吉川和広 (1966) ・ 国際基督教大学 (1970) ・ 建設省道路局 (1971) ・ Leontief W. et al (1965) ・ 広長良一, 他 (1954) ・ その他	・ Leopold L.B. et al (米国地理調査所) (1971) ・ Sorenson J.C. (1971) ・ Fisher D., Davis G. (1973) ・ Dee N. et al ・ 合衆国・国家環境政策法 (1969) ・ 中村英夫, 他 (1976) ・ その他

このような研究では、時代とともに取り扱う対象が変化してきている。1960年代以降の経済の高度成長期には、前述のように主として経済面および技術面の問題が取り扱われてきた。そして高度成長期の末期になると、事業の大規模化とそれをうけいる環境の変化、価値観

の多様化などにより、経済以外の面（例えば環境）への影響が重視されるようになってきた。前者の研究例については、例えば吉川の研究¹⁾をあげることができる。吉川は、産業連関分析手法と多変量解析手法を結合した計量経済学的手法により、四国における産業基盤整備事業が経済活動に及ぼす影響を把握し、それをもとにして同地域への公共投資のあり方を論じている。また、後者に関する研究は近年数多くなされてあり、代表的なものとして中村らの研究²⁾をあげることができよう。中村らは、システム・マトリックス手法を用いて、事業の環境面への波及的な影響を把握し、各段階において環境面から事業を評価することを試みている。諸外国における調査・研究例としては表-1に示したようなものがある。

近年のこれらの研究の傾向としては、(i)影響をできる限り多角的な観点から把握しようとしていること、(ii)影響を因果連鎖のもとで把握しようとしていること（フィード・バックの概念も含む）をあげることができる。

(2) 本研究の基本的立場と特徴

公共事業が及ぼす影響を把握するための従来の研究では必ずしも十分でなかったと考えられる点としては、次のようなものがあげられよう。

- (i) 公共事業が多方面に及ぼす影響を総合的に把握するための方法論が、必ずしも十分に開発されていない。
- (ii) 何らかの観点から公共事業の影響を把握する場合でも、それを推定するためのモデルの結果（output）のみが議論され、それを作成するまでの過程において成された仮定や近似が結果に及ぼす影響を必ずしも十分に把握していない。

そこで、本研究では、公共事業の影響を総合的に把握する場合の考え方、およびそのための方法を提示する。さらに、影響をモデル化して把握する場合のプロセスを明確にして、それぞれの段階でモデルに課せられる制約と、作りあげられるモデルの特徴を明確にする。そして、その考え方に沿ったケース・スタディーとして

- I 建設事業が地域社会へ及ぼす種々の影響の総合的な把握（事業計画マトリックス、影響推定法の調査等；上記(i)に対応）

- II 公共事業の影響をマクロ的に把握するための、公共投資が地域社会に及ぼす影響をマクロ的に把握するモデルの作成（上記(ii)に対応）

を行なう。

3 影響を総合的に把握するための方法の提示

ここでは、公共事業の及ぼす影響を総合的に把握する

ための方法論を提示する。そのために、(1)では、影響を総合的に把握するための手順を、4段階に分けて示している。また、(2)のモデル作成の過程では、(1)でリストアップした項目（多項目）に事業が及ぼす影響をモデル化して把握し、影響要因（事業）の評価を行なう場合の手順を示してある。

(1) 影響の総合的な把握

(i) 第1step；影響項目、被影響項目および環境要因項目のリストアップ

まず、影響項目、被影響項目および環境要因項目を網羅的に把握する。このためには、従来の調査・研究事例、専門家の意見等を参考にして、できる限り落ちなく項目を拾いあげる。リストアップした項目は何らかの観点から分類し、目的に応じた形で整理する。

(2) 第2step；因果関係の把握（計画マトリックス法の提案）^{*)}

第1stepでリストアップされた項目間の因果関係を、体系的に整理する。そのための方法として、計画マトリックス法を提案する。このマトリックスはシステム・マトリックスと類似の構造をもち、ある環境条件下で影響主体が作用した場合に、どのような因果関係で影響が及ぼされるかを表現する（図-1）。

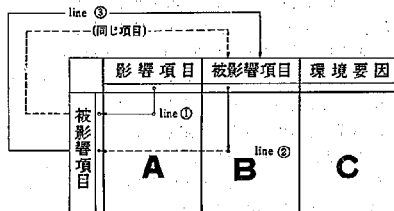


図-1 計画マトリックス

図-1で示したA, B, Cの部分マトリックスは、それぞれ次のことを示す。

A；影響項目（主体）による直接的な影響を示す部分マトリックス

B；被影響項目間の影響関係を示す部分マトリックス

C；影響主体から被影響項目への影響、被影響項目間の相互作用に關係する要因（環境要因と呼ぶことにする）を示す部分マトリックス

すなわち、このマトリックスAでは、影響主体の実現（事業の実施）により、直接影響を受ける被影響項目に印がつけられる（line ①）。Bでは、被影響項目の変化が他の被影響項目（あるいは自己）に影響を及ぼす場合の影響関係が示される（line ②, line ③）。Cでは、影

注1) このマトリックス手法はきわめて一般的な手法であるが、後述のケース・スタディーは公共事業を対象に行なったために、事業計画マトリックス法と呼ぶことにした。

響主体の被影響項目への影響、および被影響項目間の影響に関係をもつ他の要因(環境要因項目)が示される。

この表のある項目を横に見ていくと、その項目に影響する要因が拾いあげられ、縦に見ていくと、その項目がどの項目に影響を及ぼす可能性があるかがわかる。

このマトリックスは、従来の調査・研究事例、作成者の知識・経験・直観等をもとにして作成される。^{注1)}この段階では、影響関係を総合的に把握することを試みるがあらゆる影響項目・被影響項目をやみくもに取り上げるのではなく、何らかの観点のもとで網羅的に項目をひろいあげる。例えば、その影響が大きくて、しかも工学的にそれを推定しようと予想されるもので、経済・社会・環境等の項目を網羅的に把握するというような観点がある。また、マトリックスによる影響関係の表示には、その大小、時間遅れ等を示すために種々の記号が用いられる。この時点で、影響関係を支配する環境要因項目も明確にしておく必要がある。

この表は、次の因果連鎖の体系化ではチェック・リストとして活用される。

(3) 第3step: 因果連鎖の体系化

第2stepでは、どちらかという各項目に着目して因果関係を把握するが、ここではそのようにして把握された因果関係をもとにして、影響主体(影響項目)、被影響項目および環境要因の相互関係を体系的にとらえ、影響主体の影響を把握するためのフロー・チャートを作成する。すなわち、第2stepでは部分的な影響関係をひろい出したが、全体としての影響関係は必ずしも明確ではない。そこで、部分的な影響関係をつなぎ合わせるにより、因果連鎖図(フロー・チャート)を作成する。

この作業では、第2stepのマトリックスに示される部分的な影響関係から、“目的による選択”、“量による選択”、“工学的な選択”などの種々の観点からの選択が行われ、フロー・チャートが作成される。^{注2)}この段階で、どこに注目した調査・研究を行なうかを明確にし、他の部分に注目した調査・研究との整合をとっておく必要がある。そして、そのようにある部分に着目した分析結果が総合されて、事業の総合的な影響が把握されることになる。

(4) 第4step: 影響の定量的把握

第4stepでは、第3stepで作成した因果関係フロー・チャートで表示される因果関係を定量的に把握するために、必要な調査と分析を行なう。そのために、調査方法と分析手法、およびモデル化手法の種類とその特徴を予め知っておく必要がある。^{注3)}

用いる調査方法や分析手法、あるいはモデル化手法が決まると、必要なデータを収集し、分析およびシミュレーションモデル・予測モデルの作成を行なう。

以上の関係を図示すると図-2のようになる。

〔1〕影響の総合的な把握: ケース・スタディ I

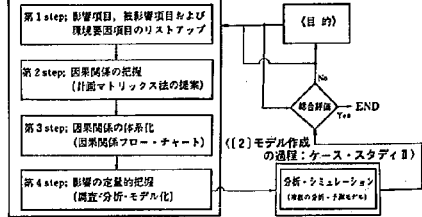


図-2 影響の総合的な把握

(2) モデル作成の過程

(1)では、影響を総合的に把握する場合の基本的プロセスを明確にした。ここでは、そのようにして把握された項目について、予測あるいはシミュレーション・モデルを作成する場合のプロセスについて考察する。

(1) 第1step: 取り扱う項目の決定

前述のように、モデル化する項目は必ずしも(1)の第2stepで取りあげた項目をすべて網羅しなくてもよい。すなわち、すべての項目を単一のモデル化手法で定量化する必要はなく、例えば、環境に関する項目は環境アセスメント手法で、経済に関する項目は計量経済学的手法でそれぞれ精度よく把握すればよい。この段階で、取り扱うとしている項目を、全体としての影響の中で明確に位置づけておくことが重要である。

(2) 第2step: 因果フローの推定

因果フローは、(1)の第2stepにおける因果関係の把握結果をもとにして、“目的に応じた種々の観点から選択”を行なって作成される。また、直観等により必要とされる項目が明らかにになれば、それも追加する。この時点でモデルの性格が決定される。

(3) 第3step: モデル化手法の決定と必要

データの収集

第2stepで想定した因果関係を定量的に把握するために、都合のよい手法(“道具”としての手法)を選択あるいは開発し、定式化に必要なデータを収集する。なお、必要なデータのすべてが入手可能であるとは限らず、データの面から手法あるいはモデルに制約が課されることも少なくない。^{注4)}

注 1) この表の作成事例については後述する。

注 2) このフロー・チャートの作成の際には、プランナーの直観等により新しい因果フローが設定されることも多い。

注 3) 後述のケース・スタディ I では、この調査も行なった。

注 4) 後述のケース・スタディ II 参照

(4) 第4step; モデルの作成と検証

ここでは、因果関係を表現するために、データをもとにしてモデルの定式化あるいはキャリブレーションを行なう。そして、種々の項目について、用いたデータあるいは他の実現値をもとにしてモデルの検証を行なう。この際に、データは次の3つの局面で用いられる。

- ① 想定した因果関係(因果フロー)をチェックする局面……システムの同定
- ② 部分的な因果関係の定式化(キャリブレーション)……関係式の同定
- ③ ①、②により作成されたモデルの検証……検証

すなわち、①のシステムの同定では、各要因間の相互関係が明確でない場合に、想定した因果関係をデータによってチェックする。複雑な社会システムを取り扱う場合には、確立された因果法則が少なく、このような方法で試行錯誤しながらシステムの同定を行なう必要がある。②の構造式の同定では、因果関係を定量化するために、データによって関係式の形や定数(係数)等を決定する(キャリブレーション)。この場合には、因果関係はある程度固定的に考えて、主として精度の向上が指向される。しかしながら、この段階で想定した因果関係がデータで確認されなければ、①のシステムの同定にフィードバックされる^{注1)} ③の検証では、作りあげられたモデルの信頼性がチェックされる。

後述のケース・スタディⅡでは、データを2つのグループ(前期と後期)に分けて、まず前期のデータをもとにして、①～③の作業を行なってモデルを作成した(training data によるモデルの作成)。この時点で、training data による検証と構造分析も行なった。次に、残りのデータによりモデルをチェックし、適切ではないと考えられる因果関係や構造式の修正を行なった(checking data によるモデルの修正)。そして、最終的に得られたモデルにより、種々のシミュレーションや将来予測を行なった。

(5) 第5step; 影響主体の影響シミュレーションと影響主体の評価

シミュレーションは、影響主体の種々なる変化に対して、それがどのように被影響項目に影響していくかを把握するために行なわれる。そして、シミュレーション結果をもとにして、影響主体の評価や影響主体のあるべき姿が考察されることになる。

影響主体の評価は、“何について”、“どのような考え方で”、“いつ”それを行なうかをモデルの外で決める必要がある。方法的には、多段階評価・多目的評価(チ

ェック法もこれに含める)が最近の主流であるが、¹¹⁾ 原理的には両者は併用されるべきであろうと考えられる。

以上で、モデル化の基本的プロセスを示したが、実際に作成されるモデル(複数のモデルでもそれらが互いに整合がとれていればよい)は、目的に応じて都合のよい方法により、必要な範囲内で作成される。

後述のケース・スタディⅠでは、公共事業(単一)の及ぼす影響の総合的把握(影響・被影響・環境項目のリスト・アップ、事業計画マトリックスの作成、現在用いられている調査、分析・予測手法の整理)を行なった。ケース・スタディⅡでは、公共事業(複数の公共事業)が主として生産環境や生活環境に及ぼすマクロ的な影響を把握するために、地域マクロ・モデルを作成した。

4. ケース・スタディⅠ(事業計画における調査と分析・予測)

(1) 概要

ここで述べる事業計画における調査と分析・予測では、建設事業計画を策定する際に必要となる、調査および分析・予測すべき項目とその方法を体系的に整理した。方法的には、第3章(1)影響の総合的な把握で示した手順により、まず要因のリストアップを行ない、事業計画マトリックスにより因果関係を体系的に把握した。次に、そのような因果関係を具体的に把握するための調査法と分析・予測手法の調査を行ない、ライブラリーの形にとりまとめた。この調査には現場のプランナーにも参加してもらい、現在考慮されている要因を調査するとともに、調査(分析・予測)が必要であると考えられる要因も合わせて検討した。この調査は、道路事業・河川改修事業・ダム事業について行なった。以下ではその概要を記すが、詳細については参考文献¹²⁾を参照された。

なお、第3章(1)影響の総合的な把握と、本章の各節との対応は図-3のようになる。

(2) 調査、分析・予測の種類

計画策定時に必要とされる調査と分析・予測は多様多様であり、各方面で必要に応じてさまざまな形でそれらを実施されている。そして、その分類も様々な観点からなされているが、¹²⁾ ここでは計画を策定する際の各局面で分類を行なうことにする。計画策定のプロセスを大きく分けると、次のような4つの局面がある。

① 計画の目的を設定し、手段を想定した上で具体的

注 1) ①、②を明確に区別するのはむずかしい、互いにフィードバックをくり返しながら同定を行なう場合が多い。

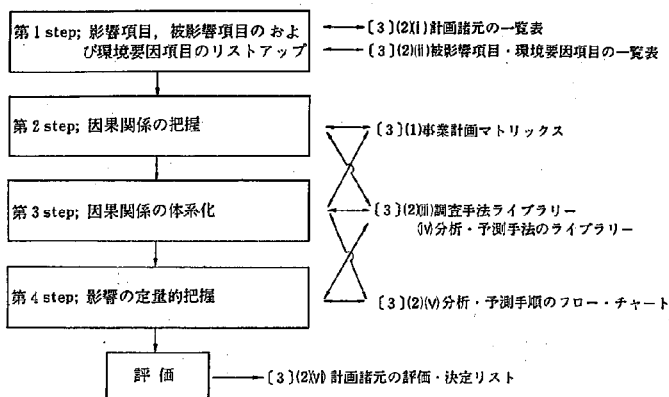


図-3 第3章 (1) との対応

な目標を設定する局面

- ② 目標を達成するための手段を設定する局面
- ③ 手段の実施により出現する状態と、目標とする状態との対応を多段階的に検討し、目標と手段との対応を規定する局面
- ④ 目標と手段の対応がとれた計画案について、評価を行なう局面

なお、土木学会編『土木計画学の領域と構成』では、これらの計画策定プロセスを、意図および手段という用語を用いて図-4のように表わしている。^{55) 56)}

事業計画における調査・分析・予測を、以上の局面により整理すると表-2のようになる。

表-2より明らかなように、調査と分析・予測の間には密接な関連があり、調査・分析・予測の一連の作業の

うちで、これらを明確に区別することは困難である。例えば、道路事業調査という場合には、調査の中に分析・予測作業も含まれており、調査と分析・予測との区分はむずかしいのが実状である。したがって、調査と分析・予測の区別は厳密に行なわれておらず、一連の作業として把握されているのが通常である。

調査と分析・予測の内容は、先に示したように多くのものがあるが、実際の計画にあたってすべての調査を実施しなければならないというわけではない。計画当事者がすでに知識・経験として持っている情報や、明らかな事柄については、新しく調査・分析・予測する必要はない。^{注1)} 個々の計画の特性やその環境条件、および計画当事者の保持する情報の質と量に応じて、実際に実施すべき調査・分析・予測は異なったものとなる。

従来の調査・分析・予測は、先の分類における③の目標と手段との対応関係を規定する局面にややかたよっていったように思われる。すなわち、各要因の対応法則や、ある環境条件のもので手段実施による状況変化(現象)を求めるための調査・分析・予測が主として実施され、各種の分析・予測モデルが提案されている。

しかし、適正な事業計画を策定するためには、上記の各局面における調査・分析・予測を積極的に実施していく必要がある。すなわち、土木事業の必要性を明確にするために①の調査・分析・予測を行なう必要がある。また、従来の土木構造物にとらわれず、多角的に手段の選択を行なうために②の調査・分析・予測が必要となる。さらに、計画案を評価する場合に役立つ情報を得るため

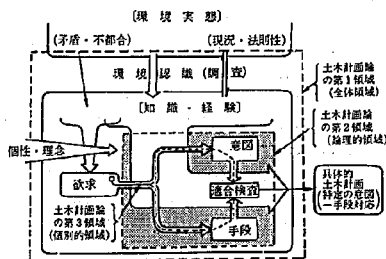


図-4 土木計画論の展開領域

注 1) 確認あるいは検証のための調査と分析は除く。

表-2 土木計画における調査、分析・予測

局 面	調 査	分 析 ・ 予 測
① 目標の設定	1. 現在問題となっている事項の経緯、現状に関する調査 2. 将来問題になると考えられる事項の現状に関する調査 3. 社会構成員の意識の変化、現状に関する調査 4. 類似の計画で取り上げられた目的と評価基準（ウェイトづけを含む）に関する調査 5. 計画目的を構成する各事項の現状に関する調査 6. その他	1. 左記の調査の実施方法（項目・手法・範囲等）に関する分析 2. 現在の問題に関する現状分析と将来予測 3. 将来問題になると考えられる事項の現状分析と将来予測 4. 社会構成員の意識の現状分析と将来予測 5. 上記の現状分析手法の開発および将来予測、需要予測等の予測手法の開発 6. 計画目標と評価基準の設定に関する分析 7. その他
② 手段の設定	1. 類似の計画において取り上げられた手段に関する調査 2. 計画の実施に必要な技術水準、労務・資財・財政状況に関する調査 3. その他	1. 左記の調査の実施方法に関する分析 2. 取り上げるべき手段とその記述方法に関する分析 3. 計画の実施に必要な技術予測、労務・資財・財政に関する予測 4. 上記の予測手法の開発 5. その他
③ 目標と手段の対応規定	1. 類似の計画において取り上げられた現象項目に関する調査 2. 対応法則に関する調査 3. 対応づけに必要な環境条件の調査 4. その他	1. 左記の調査の実施方法に関する分析 2. 現象項目に関する分析 3. 対応法則に関する分析 4. 環境条件の現状分析と将来予測 5. ある環境条件のもとで手段を実施した場合の現象予測および評価値の予測 6. 目標と手段との適合性の検証についての分析 7. その他
④ 計画の評価決定	1. 手段の実施によって生じる意図しない現象（派生現象）を予測するのに必要な環境条件に関する調査 2. 作成された計画に対する社会構成員の意見に関する調査 3. その他	1. 左記の調査の実施方法に関する分析 2. 派生現象の予測 3. 計画による目標の達成度合に関する分析 4. その他

に、環境アセスメント等の④に関する調査、分析・予測が各方面で進められつつある。しかし、それらの調査、分析・予測には、理論的・科学的な扱いが困難なものも多く、試行錯誤をくり返しながら、なんらかの形で体系化していく必要があると考えられる。

以下では、従来の成果をもとにした③に関する調査、分析・予測の体系化の例を報告する。

(3) 調査、分析・予測の体系化の一事例

土木事業の計画を策定するにあたっては、現在種々の調査および分析・予測が実施されている。しかし、どのような項目について調査、分析・予測をすれば必要かつ十分であるかが明確にされていないために、時として不必要な調査、分析・予測が行なわれたり、それらのやり直しが生じたりしている。また、調査、分析・予測の方法やその精度についても、十分な検討が行なわれていない場合も少なくない。このような問題に対して、ここでは事業計画を策定する場合に、目標（目的）と手段との対応関係を規定するために、どのような手順によりそれを実施すればよいかについて検討を行なった。

(1) 事業計画マトリックス

調査、分析・予測の体系的な整理を行なうにあたっては、まずその対象となる土木事業と、それにかかわる現象との関係を明確にする必要がある。すなわち、土木事

業がある環境条件のもとで実施すると、自然・社会環境等にさまざまな状態の変化が生じる。この場合の因果関係をマトリックスを用いて表示すると、図-5のようになる（第3章（1）第1,2 step）。このようなマトリックスは、道路事業と河川改修・ダム事業について、現場のプランナーの意見等を参考にして作成したが、図-5は前者の例である。

ここで、事業計画諸元とは、計画の手段を構成する各要素であり、第3章の影響項目に相当する。出現する変化状態とは、ある被影響項目ならびに環境要因の状態のもとで、計画の手段を実施した場合に生じる被影響項目の変化した状態である。このマトリックスは、ある計画諸元を変化させると、出現する状態にさまざまな変化が生じ、しかもこれらの変化が相互に密接な関連をもっていることを表現している（図-5）。

前述のように、このマトリックスである項目を横にみると、ある項目の変化に関係する要因を知ることができる。また、縦にみていくと、ある項目がどのような項目の変化に関係しているかがわかる。図-5の事業計画マトリックスをもとにして、2次、3次の影響まで考慮して作成した因果フローを図-6に示す。^{注1)}これは、マトリックスで排気ガス（濃度・成分）の項目を横に見えて作成したものである。

注 1) これはマトリックス演算により容易に求めることができる。参考文献④、⑤参照

[illegible]

注：マトリックスの見方：被影響項目・環境要因のある状態のもとで事業計画諸元を実施すれば、どのような変化状態が出現するかを、下記の凡例にしたがって示す。

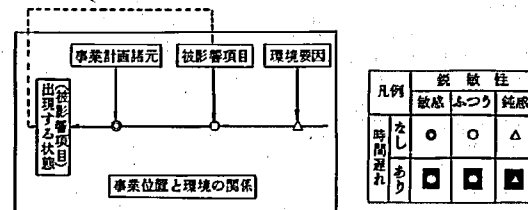


図-5 道路事業マトリックス

公共事業の計画策定手法に関する研究 (I)

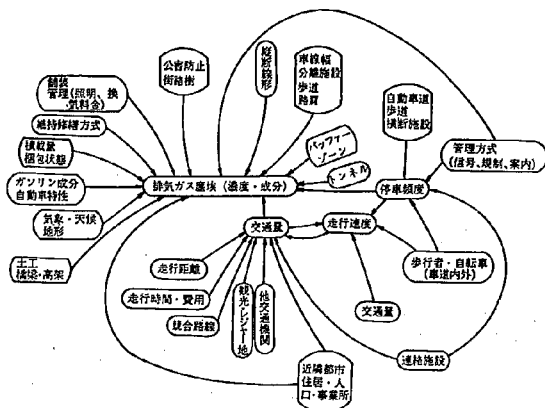


図-6 排気ガス・塵埃

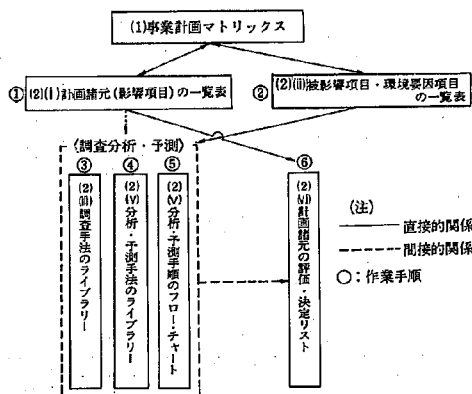


図-7 調査・分析・予測手法の体系的整理

事業計画マトリックスの被影響項目および環境要因項目が調査すべき項目に相当し、^(注) 変化状態が分析・予測すべき項目に相当する。したがって、その調査や分析・予測を行なう場合にも、相互の関連に配慮し、手順よく進めることが必要である。

(2) 調査、分析・予測手法の体系的整理

ここでは、図-7に示す手順により、調査、分析・予測すべき項目と方法の体系的整理を行なった。

(i) 計画諸元（影響項目）の一覧表

事業計画の策定過程を4段階に分け、各段階にお

いて検討・決定される計画諸元を列挙し整理した(計画諸元の一覧表、第3章[1]第1 step, 表-3)。

(ii) 被影響項目・環境要因項目の一覧表

土木計画の策定に必要となる調査、分析・予測の項目をもれなく列挙し整理した(被影響項目・環境要因項目、第3章(1)第1step、表-4)。

④ 調査手法のライブラリー

(ii)の項目のうちで調査すべき項目について、その項目を表わす指標を設定し、その指標の調査手法を示す^{注2)}(調査手法のライブラリー、表-5)。

注 1) 事業を実施する場合には、被影響項目もその影響を支配する環境条件として考慮しなければならない。

2) 参考文献名も併せて記す。

[illegible][illegible]

表-5 調査手法のライブラリー（例示）

項目 No.22	動植物	道路
指標物	手法	参考文献
植物	現地観察および類似道路における影響等の調査 鳥獣相調査 ・ロードサイドセンサス法 ・アリトリマッピング法 ・トラッピング法 ・足跡法 鳥獣類動態調査 ・テレメーター法 ・トラッピング法 ・首輪色素法 ・銀紙追跡法 道路の鳥獣類への影響調査 保護・管理対策の評価	自然環境アセスメント 小委員会報告書 (道路協会) 環境庁 自然保護局資料
植物	現地観察および類似道路における影響等の調査 植生図 植物自然度図 貴重植物の分布 既存道路における植生変化 植生の保全・管理方法等	同上

公共事業の計画策定手法に関する研究 (I)

(v) 分析・予測手法のライブラリー

(i)の項目のうち、分析・予測すべき項目についてその項目を表わす指標を設定し、その指標の分析・予測手法を示す。^{注1)}さらに、この手法を用いて、手段の実施による指標の変化を求めるために必要な情報を、インプット指標として示す。なお、インプット指標には、調査指標、分析・予測指標、計画諸元の3種類の指標が含まれる(分析・予測手法のライブラリー、表-6)。

(vi) 分析・予測手順のフロー・チャート

(v)の分析・予測指標とそのインプット指標(分析・予測指標、調査指標)の入出力関係に基づき、各指標間の関連をフロー・チャートにより表示する(分析・予測手順のフロー・チャート、図-8)。

(vii) 計画諸元の評価・決定リスト

(ii)の4つの段階に分けて示した計画諸元のそれぞれについて、それを決定する場合に必要な指標を列挙する。この場合の必要指標には、上記(v)と同様のものが含まれる(計画諸元の評価・決定リスト、表-7)。

表-6 分析・予測手法のライブラリー(例示)

指標	項目 表6-4	交通量(車種別、目的別)	道路	
			インプット	アウト
将来配分交通量	モデル・手法	参考文献	調査・分析・予測	計画諸元
			調査・分析・予測	計画諸元
	交通機関別分担交通量の推定 (1) トリップエンド交通機関別分担 各ゾーンの発生集申トリップエンドを交通機関別に分割し、機関別発生集申量に分布の操作を行う。 ex) ピエジェント・サウンド計画 $Q_i = \sum_j A_{ij} (D_{ij})$ 大量輸送機関網と道路網とをそれぞれ利用した場合について、各ゾーンの交通アクティビティーへの接近ポテンシャルを算定し、これらの比と大量輸送機関利用トリップ発生率との関係を表わす曲線を作成して各交通機関関への分割を行っている。	交通工学ハンドブック (交通工学研究会) ハイウェイ・リサーチ・ボード スペシャル・レポート 87 (1967)道路の交通容量 (交通工学研究会)	調査 1 ゾーン間距離 調査 44 他交通機関 分析 1 走行距離 分析 2 走行距離 分析 3 走行時間 分析 4 走行費用 分析 6 将来分布交通量 分析 44 機関分担	1 計画交通量 2 ルート

表-7 計画諸元の評価・決定リスト(例示)

計画諸元	分析・予測指標	調査指標	道路	
			調査計画諸元	関連計画諸元
3 (B)主要環境対策施設	15. 汚染物排出量・濃度 16. 地盤振動 17. 騒音レベルの中央値 18. 騒音レベルの補正值 20. (沿道住民の健康) 22. 動物分布 23. 植物分布 24. 日照時間と日影時間の比 25. 風向・風速の変化の程度 31. 建設費	27. 人口調査 37. 地形諸元	2 6 環境対策基本方針 2 7 関連事業への対応方針 2 8 沿道土地利用への対応方針 3 3 横断形状	

以上のようにして作成された分析・予測手順のフロー・チャートにより、事業計画の策定にあたって実施する調査、分析・予測の手順が示される。そして、調査手法ライブラリーと分析・予測手法ライブラリーにより、各

各の調査、分析・予測の方法が示される。したがって、このフロー・チャートの手順に従って、ライブラリーに示した手法を用いて調査、分析・予測を実施することにより、体系的な調査や分析・予測を行なうことができる。^{注2)}

注 1) 参考文献名も併せて記す。

2) 現実の計画策定時には、ここに示された調査と分析・予測結果は、時系列的あるいは地域的な関係を明示しうるので整理する必要がある。

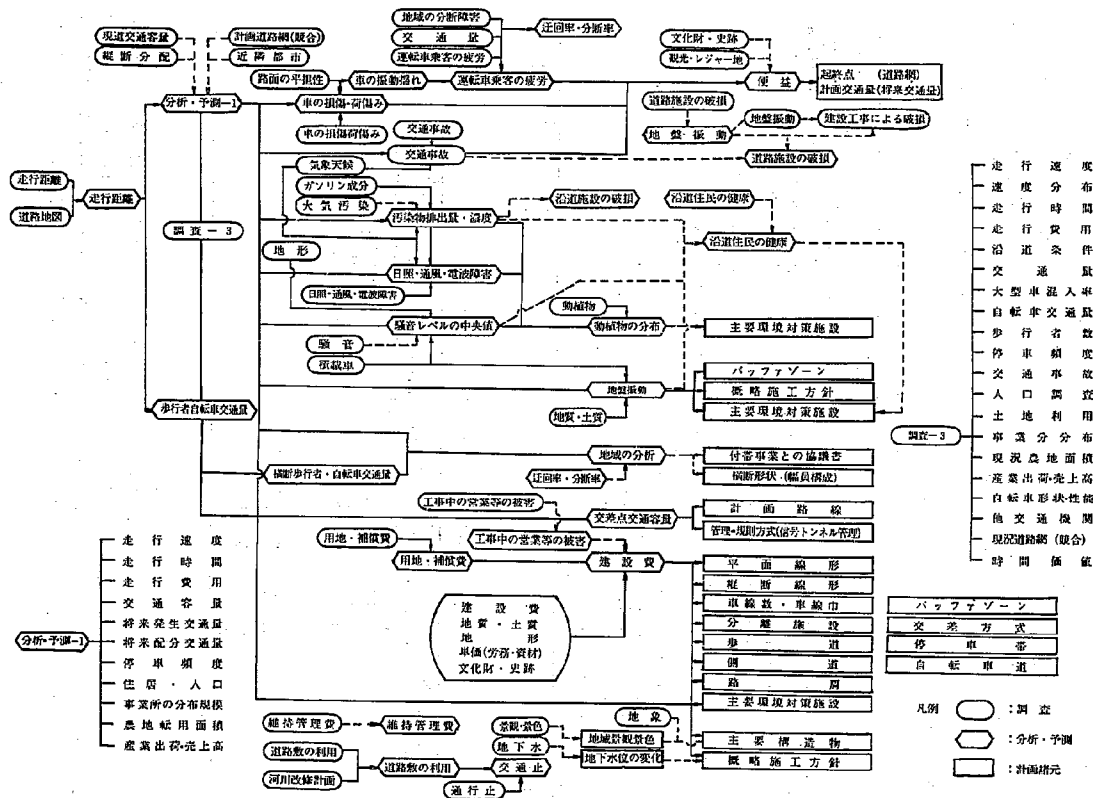


図-8 分析・予測手順のフロー・チャート

なお、以上の作業は建設省技術研究会で、各地方建設局等の協力のもとに実施したものであり、ここで紹介した道路事業計画の例の外に、河川改修事業計画およびダム事業計画における調査、分析・予測の整理を行なった。¹²⁻¹⁵⁾

(4) ま と め

ケース・スタディ I では、まず道路事業および河川改修事業、ダム事業(単独事業)が多方面に及ぼす影響(項目)を多角的に調査し、第3章(1)で提案した(事業)計画マトリックス法により、影響項目である事業計画諸元と被影響項目の因果関係を、体系的に整理した。次に、これらの事業計画諸元と被影響項目の関係、あるいは被影響項目間の関係を定量的に把握するために、現在各分野で用いられている調査法および分析・予測手法の調査を行ない、各手法をライブラリーの形に整理した。さらに、事業計画を策定する際に必要となる分析・予測の手順をフロー・チャートで示した。この調査では、従来の調査・研究事例および現場のプランナー等の意見を参考にし、従来から考慮されている項目を取り上げると共に、考慮すべきだと考えられる項目についても検討した。

ケース・スタディ I は、単に提示した方法論の検証を行なうためだけに進めたのではなく、各地方建設局の協力のもとで調査、分析・予測に関する広範な調査を行なった。したがって、得られた調査、分析・予測手法のライブラリー等は、実用的にも有益であると考えられる。すなわち、以上の調査結果を用いることにより、事業計画を策定する場合の調査、分析・予測手法を知ることが可能である。また、この調査により、従来の調査・分析・予測手法では対処しきれない被影響項目が明確になり、今後研究を要する分野が明らかとなった。

本ケース・スタディで用いた計画マトリックス手法は、複雑な因果関係を体系的に整理するために開発した手法であり、環境アセスメント等の多くの問題に適用することができると考えられる。現在検討中の地域ミクロ・モデルの作成においても、この手法が活用されている。これについては次の機会に報告したいと考えている。

5. ケース・スタディ II (公共事業が地域社会に及ぼす影響を把握するための地域マクロ・モデル)

(1) 概 要

ここで述べる地域マクロ・モデルは、建設省関連の公

共投資が、地域社会に及ぼす影響をマクロ的に把握したものである。前述のケース・スタディ I における事業計画マトリックスでは、主として個々の公共事業の影響をミクロ的な観点から総合的に取り扱ったが、ここではそれらが総合されたマクロ的な影響に着目して考察する。

このモデルでは、建設省関連の公共投資が、地域の産業活動や経済、人口配置等に与える影響を取り扱う。本モデルは、方法論的には第3章(2)のモデル作成の過程で述べたような、システム分析的なアプローチにより作成されたものである。この地域マクロ・モデルでは、全国をほぼ地方建設局単位の9ブロックに分割し、このブロック単位の公共投資政策が、地域社会に及ぼす影響が定量的に表現される。したがって、本モデルでは、ケース・スタディ I で取り扱ったような、例えば道路のルート設定といったようなミクロ的な政策を取り扱うことはできない。本モデルで取り扱えるのは、公共投資の総額とその地域配分(例えば、過疎や過密対策に重点をおくといった政策)、あるいは公共投資の種類別配分(道路を重視するか住宅を重視するかといった政策)が地域社会に及ぼす影響の把握である。このような問題を取り扱うモデルは、ともすれば大味なものになることがあり、利用目的によってはその有効性に疑問が持たれることもたしかである。

しかしながら、ミクロ的な観のみから、公共投資政策の是非を議論することが適切でないこともたしかである。環境問題や住民問題等は、ごくミクロ的な観点からのみ論じられ、対処されている。しかし、公共政策のあり方を考える場合には、このようなミクロ的な観点からの検討の外に、それが地域の産業活動や経済、さらには人口配置等に対してどの程度の影響力をもっているのかといった、マクロ的な検討をぬきにはできない。このマクロ・モデルにより把握されるような項目と、ケース・スタディ I で述べたようなミクロ的な項目に対する影響を合わせて、公共政策(あるいは公共事業)のあるべき姿を考察することが重要である。

また、このようなマクロ・モデルを用いて考察する場合には、その適用限界を明確に把握しておくことが重要である。¹⁶⁾ 今われわれが知りたいのは、公共投資が地域社会に与えるフローとストックとしての影響であるが、マクロ・モデルではその影響を詳細に取り扱うことはしない。したがって、マクロ的な指標で把握できない事柄(例えば詳細な生活指標等)は考慮の対象外であり、それらが総合された結果としての影響のみが取り扱われる。公共政策の影響は、人の意識を介して生産活動や生活に現われてくるものであるが、マクロ的な取り扱いでは、

注 1) しかし、マクロ的に取り扱うことによってはじめて明らかになる事柄が少なくないことも忘れてはならない。例えば、1930年代の米国におけるニューディール政策等で成果をあげた、クインズのマクロ経済学の成功などがこれにあたる。

この意識反応というフィルターを介さずに、直接原因と結果を関係づける。すなわち、マクロ的な指標で把握することのできない事例や詳細な意識反応の問題は、本モデルの対象外であり、それらが総合されて生じた表面的な影響のみが取り扱われる。^{注1)}

以下では、第(2)節で従来の研究と本研究の特徴を述べ第(3)節で本地域マクロ・モデルの基本的な考え方とその概要、第(4)節でモデルの検証および公共政策の影響をシミュレートした結果とそれに対する考察、第(5)節でこのケース・スタディ全体の考察を記す。

(2) 従来の研究と本研究の特徴

ここでは、公共政策（投資）が地域社会に及ぼす影響を把握した従来の研究の概要を述べ、それらと対比することにより、本研究の基本的立場と特徴を明確にしておくことにする。

(1) 従来の研究

近年(1960年代以降)のこのような研究は、主として2つの特徴をもつと考えられる。第1の特徴としては、公共政策の及ぼす影響を、複雑な因果連鎖の中で把握しようとしていること（システムとしての把握）があげられる。第2の特徴は、フィード・バックの概念の導入である。

わが国における初期のこの種の研究の特徴は、公共政策の影響を主として経済面でとらえることにより、費用効果分析を主として行なってきたことである。経済の高度成長期（昭和35～45年頃）には、このような影響を波及効果として把握する試みはなされていたが、フィード・バックの概念は導入されてはいなかったと考えられる。^{3), 2)} しかし、ややもすると経済面にのみ重きをおく政策のひずみが多方面（例えば環境面）に現われるようになると、公共政策の影響を、因果連鎖として把握するだけでは不十分となり、フィード・バックの概念を導入する必要が生じてきた。すなわち、ある特定の地域において発展しすぎた（過密となった）工業などに対して税を課すことにより、それを分散させるといったような政策等がこれにあたる。従来の因果連鎖による分析のみでは、このような現象の把握は困難であり、社会システムの質的な変化をも考慮する必要がある。^{注2)}

従来の研究を、現象の分析手法の面からながめてみると、影響を定量的に把握するために統計的手法を用いたものが多い。そして、取り扱われる影響が主として経済面に関するものであり、経済理論がモデルに組み込まれていることが多い。そのようなモデルは、計量経済モデルとよばれている。すなわち、計量経済学は経済理論と統

計的手法を結合して、実証的に現象を把握しようとする学問であり、このような考え方に立った現象把握モデルが計量経済モデルである。しかし、最近では多様化する社会指標の積極的な導入が行なわれるようになってきたために、もはや計量経済モデルという名称は適当ではなく、計量統計モデルとでも呼ぶべきであろうと考えられる。

1), 4), 5), 16)～20) モデル化のために用いられる統計的手法は、多変量解析（重回帰分析等）手法であり、これにより部分的な因果関係を分析・定式化しながら、システム全体を構成する。したがって、定式化されたものは、用いられた経済理論が動的な発展を示すものでない限り現状推移モデルであり、現状把握のために用いられるべきものである。

一方、社会の変遷を、現状推移による推定から一歩進んで、将来起こるであろうと考えられる量的・質的な変化も含めて積極的にモデル化しようとする方法が、M.I.T.（マサチューセッツ工科大学）の J.W. Forrester によって提案され、多くの分野で用いられるようになってきた。この手法は、SD法（System Dynamics Method）と呼ばれ、現状のパターンによる分析法より一歩進んでいるために、主として長期にわたる政策の影響を把握するために用いられている。^{20)～22)} SD法の利点の一つは、上記計量統計モデルが収集されているデータの種類と量に支配されるのに対して、生活指標等のように、従来からあまりデータが収集・蓄積されていない要因も積極的にモデル化していくことである。また、社会現象のフィード・バック関係の表現にも適している。なお、計量統計モデルによる分析は現状分析に適しており、SD法は将来推定に向いているといわれているが、後者による現状分析はもちろん可能であり、データ制約のある要因を含む場合の分析などには、積極的に用いられるべきであろうと考えられる。^{注2)}

計量統計モデルとSD法によるモデルの特徴を表-8に示す。

表-8よりわかるように、計量統計モデルはデータの収集状況が良く、比較的短期（その間に社会構造の質的あるいは大規模な量的変化がない）の分析には適していると考えられる。したがって、計量統計モデルにより長期間の分析予測を行なう場合には、その期間をいくつかに分割し、モデルの構造あるいは因果フローを更新すべきである。このような理由から、計量統計モデルは静的（static）なモデルと考えることができる。また、SD法によるモデルは、データの収集状況があまりよくない場合や、長期にわたる分析（予測）を行なう際には適していると考えられる。SD法は、社会システムの質的

注 1) 意識反応の問題が全く無視されるわけではない。後述の生産調整サブモデル参照

2) 現実にはこのような研究例も見うけられる。後記の付録4参照。

表-8 計量統計モデルとSDモデルの特徴

区 分	数学的手法	データ制約	現状分析	将来推定	社会構造の質的 変化の表現	モデルの作成・操作
計 量 統 計 モ デ ル	統計学的手法 (多変量解析のうち、重回帰分析手法等)	完全に制限される	適している (しかしデータによる制約あり)	短期の推定に適している	不可能あるいは困難	比較的容易
S D モ デ ル	非線形テーブル関数等 (係数の決定に際しては、回帰分析手法等を用いる)	完全には制限されない	可 能 (データの収集されていない要因も含める場合には都合がよい)	長期の推定に適している	可 能	工夫が必要

あるいは大規模な量的変化^{注1)}をモデル化しうる点が前者に比較して特につれており、動的(dynamic)なモデルである。しかし、このモデルによる長期のシミュレーション結果の定量的な信頼性は高くなく、定性的な考察に用いられている。^{注2)}

このような特徴をもつ手法で、実際の現象を取り扱った研究は多数あり、特に計量統計モデルは多くの分野で作られている。それらのうちでも、経済企画庁のモデル(COSMO)²⁰⁾や本四モデル⁴⁾などがよく知られている。SDモデルとしては、M.I.T.の研究グループの一連のモデル^{21)~27)}や建設省近畿地方建設局の水管理トータルシステムモデル⁴⁷⁾、高橋らの水需給モデル²⁸⁾などがある。

(2) 本研究の基本的立場と特徴

以下で述べる、公共事業が地域に与える影響を把握するための地域マクロ・モデルは、第3章(2)モデル作成の過程で述べたようなシステム分析(影響の因果連鎖を解明する分析)の考え方に即し、公共政策が地域に及ぼすマクロ的な影響を定量的に把握しようとしたものである。方法論的には、第3章(2)で述べたように、まず関連する要因をひろいあげ、それらの因果連鎖(因果フロー)を仮定し、その因果関係を過去のデータにより確認していく方法をとった。^{注3)}各要因間の関係は、線形式あるいは対数線形式で示されるとして、^{注4)}係数や定数の決定には重回帰分析法を用いた。したがって、本モデルは前述の静的なモデルであり、現状分析を主眼としている。このようなモデルで、遠い将来の予測を行なうことは原理的に不可能であるが、本モデルでは、SD法で用いられる考え方も導入して、モデル内に将来推定を行なう際には必要となるフィード・バック・ループも組み

込み、準動的なモデルとして作動させることを試みている。したがって、計量統計モデルにSD法の考え方を導入したモデルであり、定量的な信頼性を保ちながらある程度先の予測を行なうことができるモデルと考えることができる。

手法の面からみると、統計学的手法(重回帰分析法)と産業関連分析手法を用いたモデルであり、影響の構造分析を明示的に行なうことができる。また、経済学的にながめると、その年の政策と前年度の産業活動あるいは消費・投資活動等から定まる翌年度の需要と、民間資本ストックと産業設備整備状況等により定まる生産能力との調整により、当該年度の生産活動状況が決定されるといふ内部構造をもつ。さらに経済的な影響の外に、水需要量・供給可能量や汚染負荷量も算出され、環境面からのフィード・バックもモデルに組み込むことができる(後述環境サブモデル)。

本モデルの特徴をまとめると表-9のようになる。^{注5)}

また、本モデルをいづゆる計量統計モデル(統計学的手法と産業関連分析手法の結合)として構成したのは、第1に現状の構造分析を主目的としたこと、第2にモデルの操作性を良くしたかったこと、第3に構造分析をわかりやすく(明示的に)したかったこと(SD法によるモデル化でも構造分析はできるが、直感的あるいは感覚的な理解がむずかしい)、影響の定量的な把握を指向したことなどの理由による。

(3) 本モデルの概要

ここでは、本モデルを作成した目的と、モデルの構造の概要を述べることにする。

(1) モデル作成の目的

注 1) 例えば Forrester が World Dynamics で取り扱った資源・エネルギー・食料等の有限性によるフィード・バックの取り扱いなどである。

2) 過去のデータにより定量化できない項目の定式化を行なった場合に、結果の信頼性を補うためにシナリオ分析法を導入して、一種の感度分析を行なった例も少なくない。例えば参考文献(47)

3) データから因果フローを決定しようとするば、因子分析法等が用いられる。しかし、その結果得られる因果フローは現実的でない場合が少なくなく、通常はこのような方法がとられ、良好な結果が得られている。

4) P. 22 参照

5) 他のモデルと比較した場合の特徴についてはP. 20, 32に記す。

表-9 本モデルの特徴

モデルの形態	分析手法	公共政策の影響のモデル内での表現	生産の取り扱い	環境面からのフィードバック	水需給量の算定	モデルの適用性	モデルの操作性
数量統計モデルにSD法的な考え方を導入したモデル	・統計的手法(多次元解析のうちの重回帰分析手法) ・産業連関分析手法(レオンチエフのBalanced I/O分析法)	・最終需要に与えるフローとしての効果(当該年度のみ) ・産業基盤整備あるいは資源や生活基盤整備としてのストックの効果(継続的な影響)	政策と前年度の生産活動とを比較し、投資状況から定まる最終需要と、生産能力との調整から当該年度の生産活動が定まる。	環境制約により生産が抑えられる(環境サブモデルを導入した場合)	Outputとして水需給量と供給可能量が算出される(水需給サブモデル)	・現状の構造分析 ・短期の将来予測	種々の公共政策(建設省関連)が全国9ブロックに及ぼす影響のシミュレーション

ここでその概要を述べる「公共投資が地域に与える影響を把握を把握するためのモデル」は、全国を建設省地方建設局単位のプロックに分割し、地域別の公共投資が地域社会に及ぼす影響を把握しようとしたものである。このモデルでは、公共投資のうちでも特に建設省所管の事業に関連した公共投資の総額と、その地域配分(例えば過疎・過密の対策として)、および種類別配分(道路を重視するか水資源関係を重視するかといった政策)による地域社会への影響を把握する。そして、地域社会に対する影響も、単に経済的な側面のみでなく、社会的な側面も含めて総合的に影響を把握することを目的としている。

(2) モデルの基本構成

(i) 地域分割

本モデルは、公共政策が地域に及ぼす影響を把握するためのものであり、建設省関係の政策の影響をより明示的にとらえることを主目的としているために、図-9に示すように地域分割を行なった。そして、公共投資の総額とその配分による影響を、この地域単位で把握する(図-9参照)。表-10には、各地域に含まれる都道府県名を記す。

(ii) 基本的な部門構成と相互関係

本モデルの最も基本的な部門構成と相互関係を図示す

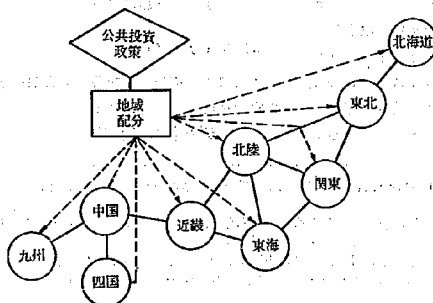


図-9 公共投資の各地域への配分

記号説明

- : 地域名
- ◇ : 公共投資の種類別構成
- : 公共投資の各地域への配分

と次のようになる(図-10)。したがって、このモデルでは、図-10に示される各部門の相互関係と、各地域間の相互関係が表現され、これをもとにして公共政策の地域社会に及ぼす影響が把握されることになる。

各部門のもつ機能の概要は次のとおりである。

① 政府部門

政府の政策を決定する部門であり、これを構成する政策変数は自由に变化させることができる構造になっている。ただし、従来のパターンにより投資をする場合には生産部門等に回帰させることもできる。

表-10 各地域に含まれる都道府県名

地域名	含まれる都道府県名
北海道	北海道
東北	青森、岩手、宮城、福島、秋田、山形、新潟
関東	茨城、栃木、群馬、埼玉、長野、山梨、千葉、東京、神奈川
東海	静岡、愛知、岐阜、三重
北陸	富山、石川、福井
近畿	滋賀、京都、奈良、和歌山、大阪、兵庫
中国	山口、鳥取、島根、岡山、広島
四国	香川、愛媛、徳島、高知
九州	福岡、佐賀、長崎、大分、熊本、宮崎、鹿児島

主要な変数(地域別) :

一般政府総固定資本形成、道路投資額、生活関連投資額、水資源投資額等

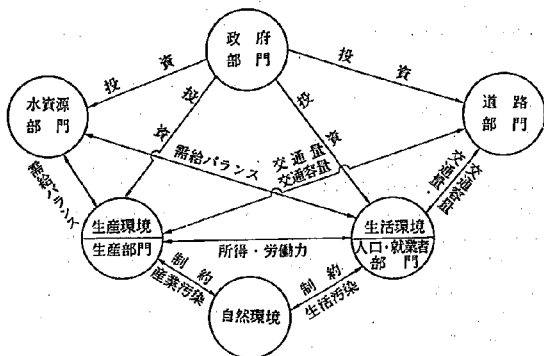


図-10 本モデルを構成する各部門と相互関係

② 道路部門

ここでは、毎年の道路投資額とストック量によって各地域の交通容量が算定され、これと発生交通量とを対比することによって、地域の混雑度、地域間時間距離、後述のアクセシビリティ等が求められる。これらの結果は、生産環境や生活環境を通して、生産や人口に影響を与える。

・主要な変数（地域別）；

道路資本ストック、交通容量、交通量、混雑度、地域内時間距離、地域間時間距離、アクセシビリティ等

③ 水資源部門

ここでは、毎年の水資源投資と水資源関連資本ストックによって、地域の水供給可能量が算定され、これと地域の水需要量とが比較される。なお、本モデルでは水供給のギャップは直接モデルの中にはフィード・バックされない。水資源部門（水需要量の算定モデル）の詳細については補足（後記）、参考文献(16) (49)を参照されたい。

・主要な変数（地域別）；

産業別工業用水、産業別回収水、生活用水、農業用水、水供給可能量等

④ 生活環境／人口・就業者部門

ここでは、公共投資による生活関連資本ストック、生産による所得、さらにアクセシビリティ等から、人口の地域間移動や就業者の動向等が算出される。この結果は、生産・道路・水資源の各セクターに影響を与える。ここでいう生活環境では、生活の水準が示され、生活水準が高いところへ人口や就業者が移動すると考えられる。

・主要な変数（地域別）；

人口、産業別就業者、1人あたり生活関連資本ストック、生活環境値等

⑤ 生産環境／生産部門

ここでは、民間資本ストック、就業者等の状態により、どの程度の生産能力があるかが算定され、前年度の純生産、政府の政策等によりどの程度の最終需要が見込まれるかが算定される。そして、両者の状況により生産額（産業別）が決定される。生産環境では需要圧力と生産能力が算定され、両者の状況によりその年の生産が決定される。

・主要な変数（地域別）；

生産額（産業別）、最終需要（産業別）、民間設備投資（産業別）、民間資本ストック（産業別）等

⑥ 自然環境

ここでは、生活部門や生産部門、道路部門から排出された汚染物による環境汚染の程度が算定され、それが環境基準を越す場合には生活および生産部門へフィード・バックがかかることになる。^{注1)}

・主要な変数（地域別）；

SOx, BOD, 産業廃棄物, NOx, CO等

⑦ 諸量の把握方法

本モデルでは、各種の影響を大別して2つの量として把握している。1つは、公共投資が最終需要を構成・喚起するといったフロー量としての影響であり、あと1つは、生産基盤資本ストック等のようなストック量による影響である。フローとしての影響は比較的短期に強く表われ、ストックとしての影響は継続する。このように2種類の変数を設定することにより、公共投資の地域社会

注 1) フィード・バックのかり方としては、いくつかのパターンを想定することになる。また、シミュレーション時にこのループを取りはずすことも可能である。

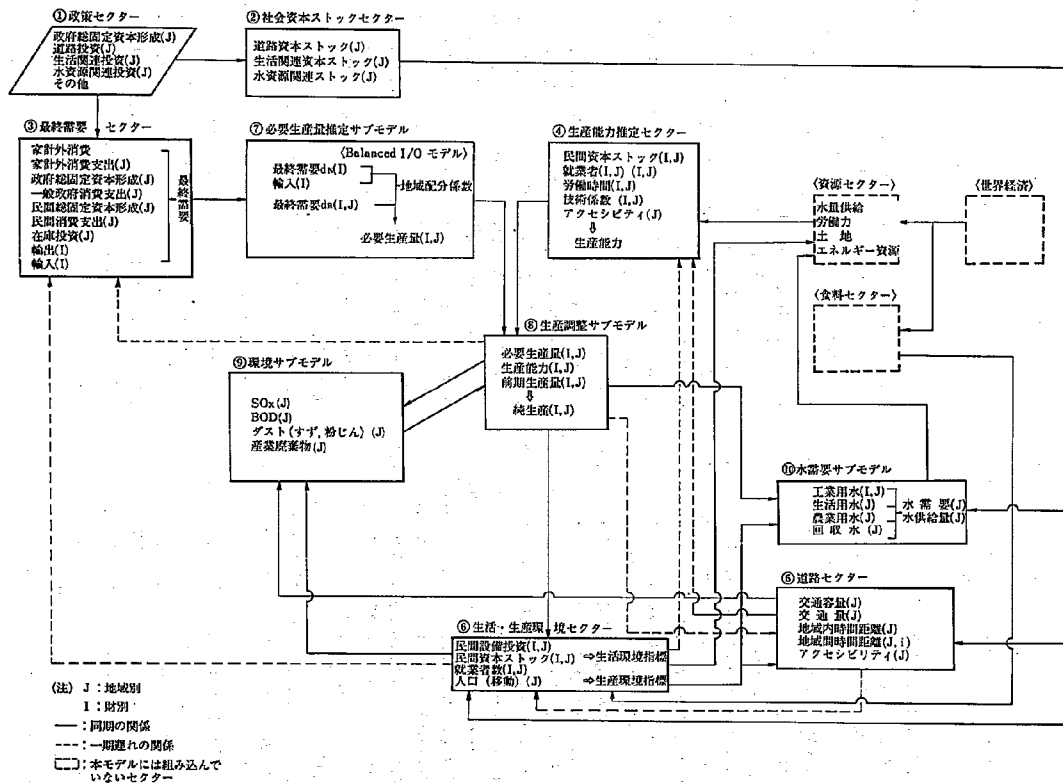


図-12 本モデルのフロー・チャート

11に示したが、図-12には、各部門の具体的な変数と各部門間の関係を明示した、より詳細なフロー・チャートを示す。図-12の矢印は、部門間の影響関係を示しており、実線は当該年度における影響を、破線は一期遅れの影響を示している。図中の実線をたどればわかるように、本モデルでは、③→⑦→⑧→③、⑧→⑥→③→⑦→⑧、③→⑧→③、⑥→⑥→④→⑧、⑥→⑥→④→⑥のセクターおよびサブモデルの間で因果関係ループが形式化されている。

(ii) 構造式の推定方法と使用データ

① 構造式の形式と推定方法

本モデルの構造式は、一般に次のような形式で表現される。

$$X^{(t)} = a \cdot X^{(t-1)} + b \cdot X^{(t-2)} + \dots + e \quad \dots\dots\dots (1)$$

(d) (e) (f)

$$(PL) R = g \quad MAPE = h$$

ここに、a, b, c, d, e, f, g, hは定数であり、 $X^{(0)}$ $X^{(n)}$ は変数^{注1)}である。式の中で変数に-1をつけたものは、1期遅れの値を用いることを示している。回帰係数の下に示される()内の定数は、回帰係数の t-valueで推定値の信頼度を示し、この値(絶対値)が2以上であればその項は有意である。(PL)は時系列およびCross Section(同期の各ブロックの)データを用いて回帰分析を行なったことを示し(このようなデータをPooling Dataと呼ぶ)、この()内に C_R もしくは T_R と記したものは、それぞれCross Sectionデータ、時系列データのみを用いた分析であることを示す。Rは実測値と回帰推定値の相関係数(重相関係数)であり、MAPEは平均誤差をパーセント表示したものである。²³⁾ また、時系列データのみを用いて構造推定を行なった式では、ダービン・ワトソン比(DW)を計算して、誤差の累積が無いかどうかをチェックした。

② 使用データ

使用したデータは、いつの(I)、どこ(J)、何についての(I)ものであるかを明らかにするために、次の3つの記号を用いた。

I: 産業連関表に示される財を分類し、次のように1から10までの番号で示す。

- | | |
|---------------|-----------|
| 1. 商業、金融、不動産業 | 6. 建設業 |
| 2. サービス業 | 7. 製造業 |
| 3. 電気、ガス、水道業 | 8. 運輸、通信業 |
| 4. 農林水産業 | 9. 分類不明 |
| 5. 鉱業 | 10. 公務 |

これらの財の順序は、後述のBalanced I/O法に

より必要生産量の算定を行なうために、通常のI/O表の順序とは異なっている。

J: これは、前述の各地区および全国に対してふられた番号で、次のように定める。したがって、通常の地域間産業連関表の地域分割とは異なる。

- | | |
|--------|--------|
| 1. 北海道 | 6. 近畿 |
| 2. 東北 | 7. 中国 |
| 3. 関東 | 8. 四国 |
| 4. 東海 | 9. 九州 |
| 5. 北陸 | 10. 全国 |

T: 年度を示す。構造式の決定のために使用した主なデータは、昭和40年度～49年度のものである。

主な構造式は、各ブロックの地域構造に対して相似を仮定し(構造は同じで時系列的な発展段階がちがうと考える)、Pooling Data {10(年間)×9(地域)=90個}を用いて分析を行なった。データの単位は億(円)もしくは千(円)であり、特殊なものについてはそのつど表示した。また、金額はすべて昭和40年度価格に換算してある(デフレーターによる換算)。

使用データのモデル内での記号、資料の出典等は付録3の表-4～10に示す。

③ 各セクターと各サブ・モデルの概要

各セクターは、いくつかの構造式から構成されている。ここでいう構造式とは、ブロック・チャート内の矢印で示される影響関係を定量化した関係式であり、線形式あるいは対数線形式で示される。この式の決定に際しては、いくつかの考えられる代替式を作成し、符号条件、t-value等により最も適当と考えられるものを採用した。具体的な代替式の考え方や採否の理由については、参考文献(16)、(49)に詳しく述べてあるが、ここではその概要を述べることにする。なお、各構造式およびt-value、重相関係数、MAPEおよびダービン・ワトソン比については付録2を参照されたい。

同様に、各サブモデルの構成についても、その概略のみを記す。

A) 各セクターの概要

① 政策(政府純固定資本形成等)セクター

これは外生的に与えられ、各地域ブロックごとの値としてモデルに入力される。また、従来のパターンによる投資を考える場合には、前年度の生産等に回帰させて内生化することもできる。本モデルでは、この両方についてシミュレーションを行なうことが可能である。(付録2(1)～(4)式)

② 社会資本ストックセクター

注 1) 対数をとった変数であることもある。通常の線形式は、 $X^{(t)}$, $X^{(t-1)}$, ...を独立変数とする一般的不関数をTaylor展開し、展開点近傍で高次の微小量を省略した形である(したがって、その適用範囲は限られている)。一方、対数線形式はこのような理論的裏づけはないが、適応領域が前者より広いことが少なくない。

ここでは、公共投資、前年度の社会資本ストックおよび減耗率から、当該年度の社会資本ストックが決定される。(付録2.(5)~(7)式)

③ 最終需要セクター

ここでは、後述のBalanced I/O 分析モデルに入力される最終需要量が決定される。モデルの検証の際には最終需要項目の各値は外生的に与えられるが、シミュレーションの時には内生化しておく必要があり、各項目について構造式を作成した。^{注1)} (付録2.(8)~(9)式)

④ 生産能力(生産能力関数)推定セクター

③の最終需要セクター、後述⑦の必要生産量推定サブモデルでは、需要面から見た生産への圧力が算定されるが、ここでは生産能力(供給能力)が民間資本ストック、産業基盤整備状況、労働力等から算定される。しかし、生産能力に関する実際のデータ、あるいは稼働率に関するデータは、一部の製造部門しか得られていない。本モデルにおける生産能力は、すべて現実の生産量におきかえて構造推定を行なっている^{注2)} 生産能力関数の形は、コップ・ダグラス型をもとにして、技術進歩や労働時間、輸送のためのアクセスビリティも考慮した次の形を基本とした。

$$\begin{aligned} \text{生産能力}(I, J) &= a \times \text{Exp}(b \times T) \times K(I, J)^c \\ &\times \left\{ L(I, J) \times \frac{\text{労働時間}(I, J)}{\text{労働時間}(I, J)_{昭和40年度}} \right\}^d \\ &\times \text{ACC}(J)^e \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

しかし、財によつては説明変数の有意性により、生産関数はこの形から若干異なるものもある。

ここに、a, b, c, d, e ; 定数, ACC(J) ; 後述のJ地域のアクセスビリティ, T ; 昭和年度(技術進歩を考慮するために用いる), K(I, J) ; I財J地域の民間資本ストック, L(I, J) ; I財J地域の就業者数, Exp ; Exponential function である。(付録2.(4)~(7)式)

⑤ 道路セクター

ここでは、産業基盤整備としての道路ストックによる地域間の結びつきや、道路の混雑度、容量台ヤロ等が算定される。

このセクターでは、地域間の結びつきをより具体的に表現するために、アクセスビリティACC(J)を次のように定義した。^{注3)}

$$\text{ACC}(J) = \sum_{i=1}^n \frac{\text{PR}(i)}{I, J \text{ 地域間の時間距離}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

これは、本四モデルにおけるポテンシャルの概念と同じ

であり、この値が大きければ供給地と需要地が近くにあることを示している。(付録2.(8)~(9)式)

⑥ 生活・生産環境セクター

ここでは、人口や就業者の地域分布、民間設備投資と民間資本ストック、輸入量等が算定される。

生活・生産セクターにおける民間設備投資、就業者の増減等についての基本的な考え方は、次のとおりである。

$$dK_t = \alpha \times (Y_t - Y_{t-1}) + \beta \times \text{アクセスビリティ} + \dots\dots\dots (4)$$

$$dL_t = \alpha' \times (Y_t - Y_{t-1}) + \beta' \times \text{アクセスビリティ} + \dots\dots\dots (5)$$

ここに、dK ; 民間資本ストックの増分(民間設備投資), dL ; 就業者の増分, t ; 当該年度, $\alpha, \alpha', \beta, \beta'$; 定数である。

すなわち、これらの式は、民間設備投資や就業者の増減が、生産(Y)の伸びやアクセスビリティ等に比例していることを示している。(付録2.(35)~(54)式)

民間資本ストックや就業者(移動)は、道路等の生産基盤(道路資本ストック含む)と共に、生産環境の指標である。また、人口配置(移動)は、間接的に生活環境の状況を示していると考えることができる。なお、純生産は所得を間接的に示す指標と考えるとよい。

イ) 各サブモデルの概要

⑦ 必要生産量推定サブモデル(Balanced I/O モデル)

ここでは、前述の③で計算された最終需要項目と輸出入の値にもとづいて、LeontiefのBalanced I/O 法により各地区・各財の必要生産量を推定する。以下では、まずBalanced I/O モデルとRAS法^{注4)}の考え方を述べ、次に本モデルにおける必要生産量を推定する方法について記す。

・Balanced I/O モデル

Leontief によって提案されたBalanced I/O モデルについては、参考文献(50)に詳しく述べてあるので、ここではその概要と特徴についてふれるにとどめておく。一般に、ある地域の需要は、その地域の生産のみによって満たされているわけではない。すなわち、小売業のような産業については、地域の最終需要の大半はその地域の小売業者によつてまかなわれるであろうが、鉄鋼や造船といった大型産業の場合には、需要地はまちまちであっても、供給地は生産能力のある特定の地域に限られている。また、最近では農業生産物についても、地域によって需給のギャップがはなはだしいところもある。すな

注 1) 輸入については、便宜上、付録2.(3)に記す。

2) 生産能力を推定する場合には、平均的な推定値より大きな実績値のみを用いて生産能力関数を定めることもできる。

3) 各地域の結びつきは産業連関分析法で表現されるが、このACCは、それに輸送機関の影響を明示的に反映させるためのものである。

4) 産業連関表の係数の時系列的な補間・外挿法である。

わち、各地域は閉じられた社会ではなく、特定の地域に対して通常の産業連関分析を適用することは適当ではない。また、地域間産業連関分析法を利用することは、たしかに厳密な議論を行なうためには重要であり、輸送問題等を取り扱うためには不可欠であろうが、本研究は公共投資の影響を把握することが目的であり、詳細な財の地区間流動を把握することを特に目的としているわけではない。さらに、地域間産業連関分析法を用いる上での最大の難点は、各地域で財ごとの最終需要を算定しなければならぬことである。

以上の理由により、国家レベルでの最終需要の変化が地域社会に及ぼす影響を及ぼすかを簡単に把握するためには Balanced I/O モデルを用いて国家レベルと地域レベルの2段階構造で産業連関分析を行なうことが適当であると考えられる^{註1)}。なお、Balanced I/O モデルの詳細については参考文献(50)を参照されたい^{註2), 51)}。

Balanced I/O モデルでは、各産業は財の流動特性によって2種類に分類される。

全国的産業；財が全国的な規模で取り引きされる産業である。このような財を National 財(N 財)と呼ぶ。

地域的産業；財が地域のみで取り引きされるような産業である。このような財を Regional 財(R 財)と呼ぶ。

すなわち、地域の産業に対する地域の需要は、必ずその地域の生産で満たされることになるが、全国財に対する需要は、必ずしもその地域の生産でまかなわれるわけではない。

産業連関表の投入係数が全国的に同一(産業の連関が相似)であるとするならば、次のような理論展開が可能となる。

＜記号の定義＞

X: 生産額ベクトル(各財ごとの値を要素とする)

d: 最終需要ベクトル(各財ごとの値を要素とする)

A: 投入係数マトリックス

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{R 財} & \text{N 財} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{R 財} \\ \text{N 財} \end{matrix} & \begin{bmatrix} A_{RR} & A_{RN} \\ A_{NR} & A_{NN} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ただし、N, R: 全国的産業、地域の産業をあらわすインデックス

M: 輸入ベクトル(各財ごとの値を要素とする)

これらの記号を用いると、全国レベルでは次式が成立する。

$$\underbrace{A_{NN} X_N + A_{NR} d_R + d_N}_{\substack{\text{N 財の R 財の最終} \\ \text{中間需要} \quad \text{中間需要} \quad \text{需要}}} - M = X_N \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって、全国財の生産額は、次式で求められる。

$$X_N = (E - A_{NN})^{-1} (d_N - M + A_{NR} d_R) \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、E は単位行列である。

このようにして求められる N 財の各地域の生産額は、J 地域の N 財の分担率を J_{CR} (N 財のみについて定義) とすれば、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} X_{J,N} &= J_{CR} \cdot X_N \\ &= J_{CR} \cdot (E - A_{NN})^{-1} (d_N - M + A_{NR} d_R) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

$$J_{CR} = \begin{matrix} \text{R 財} & \text{N 財} \\ \text{N 財} & \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & J_{CR} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

であり、0: ゼロ行列である。

一方、R 財については、J 地域の最終需要と、J 地域で生産される N 財の生産に必要な中間需要を、J 地域で生産しなければならないので、地域 J について次式が成立する。

$$\underbrace{A_{RR} X_{J,R} + d_{J,R} + A_{RN} X_{J,N}}_{\substack{\text{R 財の R 財の最終} \\ \text{中間需要} \quad \text{最終需要} \quad \text{中間需要}}} = X_{J,R} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{i.e. } X_{J,R} = (E - A_{RR})^{-1} (A_{RN} X_{J,N} + d_{J,R}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

したがって、これらの式を用いることにより、地域の分担率さえ決定すれば、きわめて簡単に各地域の各財の必要生産量を算定することができる。

なお、本モデルでは次のような仮定のもとに Balanced I/O 法を用いている。

仮定 1) I/O 表としては、昭和40, 45年度の10部門 I/O 表を用い、RAS法で毎年修正する。

2) 商業・金融・不動産およびサービス業に関するものは R 財とし、他の産業のものは N 財とする。この分類は、地域ごとの需要と生産額を比較した結果、両者の差があまり大きくない産業の財を R 財としたことによる。

3) 地域の分担率は前年度の構成比から定まる。地域の分担率については、生産能力で分担する方法と、生産能力の代りに前年度の構成比を用いる方法について検討したが、生産関数の精度やその推定方法が問題となったために後者を採用した。

Balanced I/O 法の計算手順を図-13に示す。

注 1) Balanced I/O モデルの仮定;

① 全国財は各需要地に一定の割合で供給される。

② 地域財はその地域内の需要で吸収され、地域内でバランスしている。

③ 諸産業はどの地域でも同じ費用構成(投入係数はすべての地域で同じで、それはまた全国のものに等しい)である。

公共事業の計画策定手法に関する研究 (I)

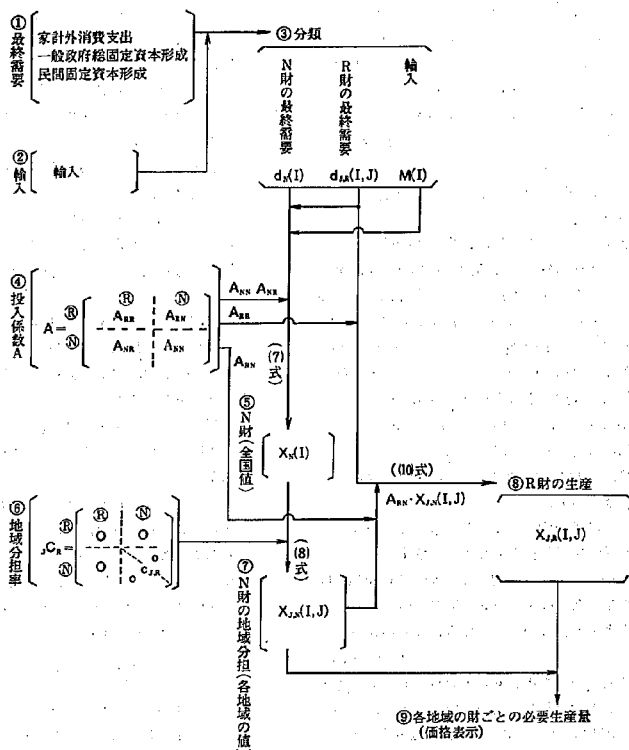


図-13 Balanced I/O 法による必要生産量の計算手順

・RAS法

産業連関表を適用する際に問題となるのは、各産業の生産に関する技術水準や付加価値率の変化等により、投入係数が変化することである。RAS法は、このような問題に対処するために開発されたものであり、時期の異なる2つ以上の産業連関表が利用できる場合に、投入係数の変化を補間・外挿する。

まず、投入される原料等については、I/O表の横の欄の変化としてとらえることができる。例えば、ある産業 i の生産物がすべての産業で r_i 倍使用されることになれば、I/O表は次のように変化する。

$$A' = R \cdot A \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここに、} R = \begin{bmatrix} r_1 & 0 \\ & \ddots \\ 0 & r_n \end{bmatrix}$$

また、付加価値率の変化は、I/O表の縦の変化としてとらえることができる。例えば、ある産業の付加価値率が s_1 倍になれば、I/O表は次のようになる。

$$A' = A \cdot S \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ここに、} S = \begin{bmatrix} s_1 & 0 \\ & \ddots \\ 0 & s_n \end{bmatrix}$$

したがって、2つの異なる時点のI/O表より、 r_i 、 s_i の値を算定すれば、その期間内の補間を行なうことができる。また、それ以後 r 、 s の値が変化しないことを仮定すれば、外挿することにより任意の時点のI/O表を推定することができる。

すなわち、 t 年のI/O表が $A(t)$ であり、1年当りの R および S マトリックスがわかっている場合には、 $t+\Delta t$ 年のI/O表 $A(t+\Delta t)$ は次式より求まる。

$$A(t+dt) = R^{dt} \cdot A \cdot S^{dt} \quad \dots\dots\dots (4)$$

本モデルの作成時点で使用し得たL/O表は昭和40, 45年度のものであり、それらをもとにして求めたRおよびSマトリックスの要素の値は付録2. (2)の表-2に示してある。これらの値は、1年当りの構造変化を示すものとしては大きく、外挿したシミュレーションを行なう場合には、多少修正してもよい。

以上で述べた方法により、必要生産量が決定される。

③ 生産調整サブモデル

生産調整サブモデルの機能は、需要と供給能力のギャップに応じて、生産者はいかなる生産目標をたて、実際にどれほどの生産を行なうか決定することである。このサブモデルは、基本的には次のように定式化される。

$$M_t = \alpha(Y_t^* - Y_{t-1}) + Y_{t-1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_t = \beta(M_t - Q_{t-1}) + Q_{t-1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Y_t : t期生産額 (I財J地域について)

Y_t^* : t期需要圧力 (= 必要生産量)

M_t : t期の生産者の生産目標

Q_t : t期の生産能力 (= 生産能力関数)

α, β : 定数

である。これらの式の意味するところは次の通りである。
(4)式は生産者の生産目標の立て方を示すものであり、生産者は、今期の需要量を予測して必要生産量を推定し、それと前期の生産量とのギャップに応じて今期の生産目標を定めると考える。なお、通常の場合の α の値は

$$\alpha \geq 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

であることは明らかである。 α が1を越えるということ、需要以上の生産目標を立てるということであるが、経済の高度成長時代にはこのような場合も起りうると考えられる。本研究で用いたデータの期間内では、 $\alpha \approx 1$ が妥当なところであろう。

(5)式は、実際に生産量が決定される過程を定式化したものである。生産者は、可能な限り生産目標を達成するべく努力するわけであるが、生産能力の制約があれば目標をそのまま達成できるとは限らない。すなわち、実際の生産量は、生産目標と生産能力のギャップの程度に応じて定まると考えられる。したがって、 β の値が

$$1 \geq \beta \geq 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

となることは明らかであろう。また、この β は産業ごとにかなり変化することが予想される。

以上で生産調整モデルの基本的な考え方を述べたが、生産調整サブモデル作成にあたっては、次のような仮定を設定した。

仮定 1) Y_t^* としては、⑨の必要生産量推定サブモデル

によって得られた必要生産量を用いる。この Y^* は仮想的な値であり、実現値をもとに作成した必要生産量を用いることが適切であるかどうかはわからないが、いわゆる“心理的な値”に関するデータがない以上やむを得ないと考えられる。毎年生産者からアンケートをとり、 Y^* の値を推計することもできると考えられるが、それは今回の分析の対象外である。

2) Q_t としては、前述の生産能力関数を用いる。したがって、この仮定により決定される Q_t は実際の生産能力の限界よりは小さく評価されることになる。

3) M_t についてのデータは存在しないので、(4)および(5)式を個別に回帰分析して定めることはできない。そこで、(4)式を(5)式に代入した次式の形で回帰分析を行なう。

$$Y = aY^* + bY_{-1} + cQ_{-1} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $a = \alpha \cdot \beta$ $b = \beta - \alpha \cdot \beta$ $c = 1 - \beta$ である。

(8)式の a, b, c を決定して、(4), (5)の α, β を決定しようとするは、過剰識別の問題が生じる。したがって、今回は(8)式の a, b, c をもとにして、最小法の概念を用いて α, β を決定した。²⁾

$$\min L = (a - \alpha \cdot \beta)^2 + (b - \beta(\alpha - \beta))^2 + (c - 1 + \beta)^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \beta} = 0 \quad \text{より}$$

$$a = (2a - b - c + 1) / (a + b + 2c + 2)$$

$$\beta = (a + b - 2c + 2) / 3 \quad \dots\dots\dots (10)$$

以上により、生産調整サブモデルの定式化を行なうことができる。なお、実際上の問題としては、 Y^*, Q_{-1}, Y_{-1} の相関が高く、回帰が不安定になる場合がみうけられた。(付録2. (55) ~ (58) 式)

⑨ 環境サブモデル

環境サブモデルのフロー・チャートを図-14^{注1)}に示す。

ここでは、道路交通や生産活動により排出される汚染量と、環境保全の面から定められる基準値^{注2)}が比較され、前者が後者を超過する場合には、当該年度の生産にフィード・バックがかかり、この基準値を満たすように生産量の地域再分配が行なわれる。この際の再配分方法としては、いろいろな代替案(代替シナリオ)が考えられるが、本モデルでは環境面から見て余裕のある地域に生産能力の比で割りふる場合(代替シナリオ1)、生産

注 1) 図-14は、生活による汚染物質の排出(原単位法による算出)については省略してあるが、モデルには組み込んである。付録参照

2) この基準値を決めることは容易でなく、本モデルではある年度の汚染物質の発生量を基準値として与えた。

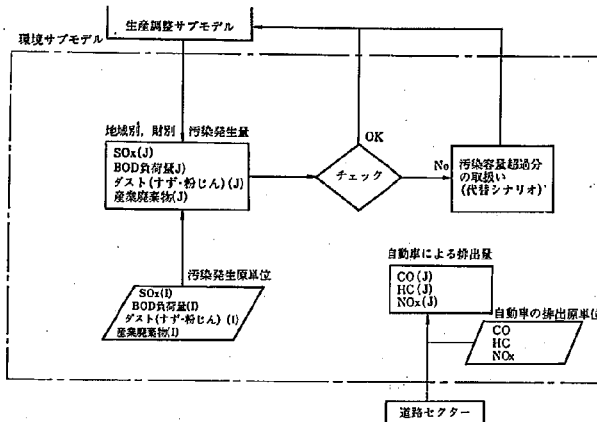


図-14 環境サブモデル

能力と実際の生産の差に比例してわりふる場合(代替シナリオ2)についてシミュレーションできるようにしてある。(付録2. (64)~(66)式)

なお、このサブモデルは、シミュレーションの際に本モデルに組み込むことも、取りはずしておくことも可能である。

⑩ 水需給サブモデル^{注1)}

水需給サブモデルでは、当該年度の生産活動と生活のために必要とされる水需要量が計算される。また、水供給可能量は、水資源関連投資をもとにして計算される。(付録2. (67)~(70)式)

なお、本モデルでは、このようにして計算された需給のギャップは、モデル内にはフィード・バックされない構造になっている。したがって、水需給サブモデルは、水需要量と水供給量が対比され、水需給問題が検討される。(付録2. (2)⑩参照)

(4) モデルの検証とシミュレーション

(i) モデルの検証

(ii) 検証の考え方

モデルの検証には、前述のように2つの意味がある。1つは因果フローの検証である。あと1つは関係式の精度に関する検証である。本モデルの検証方法は、第5章(3)(2)(v)で述べたように、モデル作成の各段階で行なった。すなわち、種々の関係式を作成する場合には、代替的な因果関係を設定して構造推定を行ない、符号条件、相関係数、平均誤差率(MAPE)、ダービン・ワトソン比等

より因果フローおよび精度の検討を行なった。また、そのようにして作成した全体モデルのoutputと実現値の対応の関係を調べて、モデルの全体構成の検討を行なった。

(ii) 検証の方法

各サブモデルや構造的検証は、代替式を検討する際に行なっているので、ここでは全体モデルの検証方法について記す。検証時には、本モデルでは次の変数は外生的に与える。(1)総文出デフレータ(J)、(2)人口の全国値、(3)総面積(J)、(4)政府総固定資本形成(J)、(5)可住地面積(J)、(6)労働時間(I, J)

これらの外生値(実績値)のもとでモデルを作動させ、モデルのoutputと実績値の対応により、モデルの検証を行なう。

(iii) 検証結果

モデルの検証は、モデルに組み込まれている各変数(約200)に対して行なったが、ここではそのうちの2~3の例のみを示しておく(図-15(a)~(c))。

図-15(a)は、training dataで作成したモデルをtraining dataで検証したものである。これは、使用したdataに対する検討であり、モデル作成上の誤差をチェックしたものである。図-15(b)は、training dataで作成したモデルをchecking dataで検証したものである。この検証において、training dataの期間では良い対応をみた項目のうち、checking dataの期間で対応がよくないもの(例えば就業者数)があれば、構造

注 1) 本研究の一環として、地域内の水需給問題についても総合的かつ多角的に検討した(ケース・スタディⅢ)。参考文献(53)、(56)参照

- ・可住地面積 (J) ; 一定
- ・労働時間 (I, J) ; 昭和40年度～45年度までの実績値を2次関数で近似し決定した。
- ・人口 (全国値) ; 厚生省推定値

(ii) シミュレーションのパターン

シミュレーションは、大別して2つのことを考察するために進めた。1つは公共投資 (建設省関連の投資) が過去において及ぼしてきた影響の構造分析であり、あと1つは公共投資を積極的に変化させた場合の影響の把握である。このような考え方のもとで多くのシミュレーションを行なったが、ここでは次の4つの政策パターン (特に建設省関連投資の影響に着目) によるシミュレーションの結果について述べることにする。^{注1)}

- ①パターン1 ; 総額を変化させた場合
- ②パターン2 ; 道路投資の割合変化を変化させた場合
- ③パターン3 ; 地方分散政策をとった場合
- ④パターン4 ; 環境からのフィード・バックを考慮した場合

①では、昭和41年度から政府総固定資本形成 (この中に建設省関連投資が含まれる) の総額を、0%, 3%, 7.2% (建設省計画局の将来見通し), 10%, 18% ずつそれぞれ増加させて、その影響をシミュレートした。

②では、昭和40～49年度のパターンで政府総固定資本形成の総額を変化させ、その中に占める道路投資の割合を変化させた場合の影響をシミュレートした。なお、割合の変化は、昭和40～49年度のパターンによる投資 (したがって、昭和40～49年度は実績値) の何割増しという形で与えた。^{注2)}

③では、政府総固定資本形成の総額は昭和40～49年度のパターンで変化させ、さらにその当時のパターンで計算したその各地域への配分量と、全国平均額の差を半分にするように投資をした場合^{注3)} の影響をシミュレートした。

④では、環境サブモデルを導入し、環境面からのフィード・バックを考慮した場合 (上記の①～③ではこのフィード・バックは考慮していない) の影響をシミュレートした。この際のフィード・バックのかけ方は、いくつかの代替的な関係 (代替シナリオ)^{注4)} を想定した。

(iii) シミュレーション結果と考察

①パターン1

パターン1のシミュレーション結果については、多くの考察を加えることができるが、ここでは公共投資の総額の変化が総生産と道路の混雑度にも与える影響についてのみ記すことにする (図-16(a), (b))。

図-16(a) が示すように、例えば公共投資額を昭和40年度の額に固定したとしても、純生産は年々増大していく。これは、主としてモデル作成を行なった時期が経済の高度成長期にあたり、公共投資による産業・生活基盤整備が立ち遅れている状態で、生産が拡大していった事情をモデルが反映しているためであると考えられる。また、図-16よりわかるように、公共投資の総額を増すことにより、道路の混雑度は減少していく。これは、公共投資の変化が、混雑度を増すように作用する純生産にそれ程大きな影響力をもたないのに対して、混雑度を解消

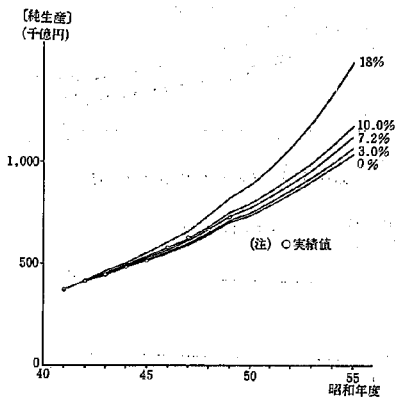


図-16(a) パターン(1)純生産(全国値)の変化

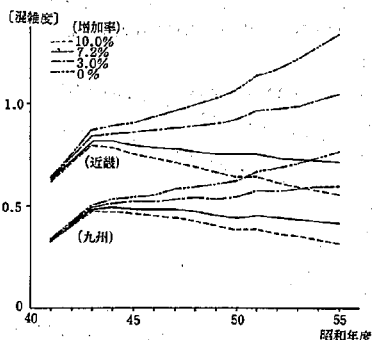


図-16(b) パターン(1)の混雑度の変化

注1) 水需要量・供給可能量についてのシミュレーション結果は、付録2.(2)④ (四-1) に示す。

注2) 本モデルでは、それに伴って他の政府総固定資本形成が変化したことによる影響は主としてフロー量の影響として表現される。

注3) 先進地域ほど、政府総固定資本形成の額は大きい。

注4) 本文見26参照

する傾向が大きいためである。^{注1)}

②パターン2

道路投資が公共投資（政府総固定資産形式）に占める割合の変化が、純生産、混雑度および民間設備投資に与える影響を昭和55年度でみたものを図-17(a)～(c)に示す。図-17(a)～(c)より、公共投資に占める道路投資を増減させれば、純生産、混雑度および民間設備投資も増減するが、混雑度が特に大きな影響をうける。民間設備投

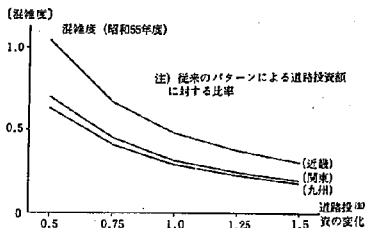


図-17(a) パターン(2)の混雑度の変化

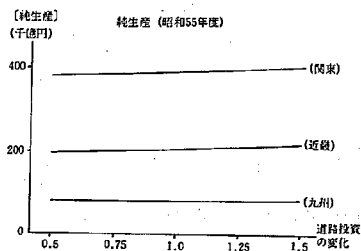


図-17(b) パターン(2)の純生産の変化

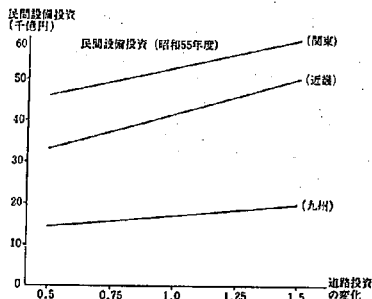


図-17(c) パターン(2)の民間設備投資の変化

資は、道路投資により産業基盤が整備されるために増大し、その伸びは先進地域程大である。

③パターン3

公共投資（政府総固定資本形成）からみた地方分散政策を積極的に行った場合のシミュレーション結果を、純生産と混雑度についてみたものが図-18(a), (b)である。純生産については、各地域の生産がその地域の前年度の純生産（所得と考えてもよい）に大きく依存する構造になっており、しかも公共投資の変化が生産に与える影響がそれ程大きくないために、純生産に対してはこのような地方分散政策の効果は小さい。^{注2)} また、混雑度につい

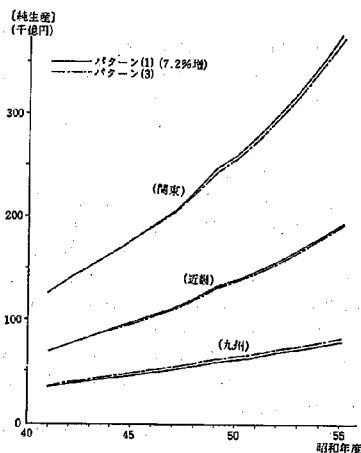


図-18(a) パターン(3)の純生産の変化

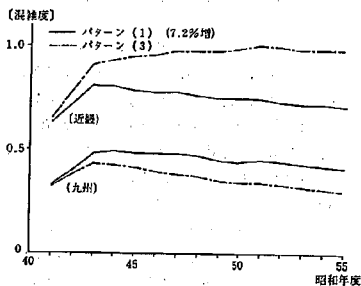


図-18(b) パターン(3)の混雑度の変化

注 1) 公共投資額の増大にともなって、道路投資額も増大する。

2) これは純生産についてのみ見た場合の結果である。また、地方分散政策は建設省関連の投資政策のみに移行行なわれるわけではない。

てみると、地方分散政策により混雑度は先進地域で増大し、後進地域で減少する。これは、前述のように公共投資（政府総固定資本形式）の変化は、混雑度を増大させるように作用する生産に対してそれ程大きな影響を与えないが、公共投資（道路投資）による混雑度の解消の程度が大いいためである。

④パターン4

ここでは、環境サブモデルを組み込んで、環境面からのフィード・バックを考慮した場合のシミュレーション結果の一例（純生産について）を図-19(a), (b)^{注1)}に示す。実線は環境面からのフィード・バックを考慮した場合で、破線は考慮しない場合の結果である。

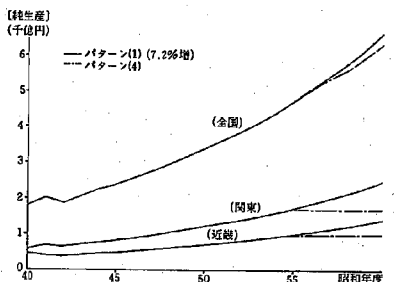


図-19(a) パターン(4)の純生産（運輸・通信業）の変化

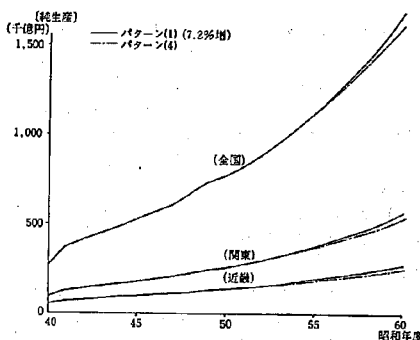


図-19(b) パターン(4)の全財純生産の変化

〔5〕ま と め

ケース・スタディⅡの結論と、今後の課題を要約すると次のようになる。

注 1) 図-19(a), (b) は代替シナリオ1を想定した場合に対応する（本文P.28参照）。また、フィード・バックは各財ごとに検討される。

2) 例えば、パターン①、②によるシミュレーションにおいて、建設関連の公共投資額を0に近づけていけば、ストックとしての効果を推察することができる。また、その額を変化させてシミュレーションを行なうことにより、フローとしての効果を知ることができる。

(1) ケース・スタディⅡの結論

建設事業に関連した公共投資（政府総固定資本形成）が地域社会に及ぼす影響を、客観的かつ定量的に把握することは、事業を実施していくうえできわめて重要である。そして、公共事業に対して、多方面から種々の要請と評価がなされるようになった今日では、その影響の把握は総合的になされる必要がある。このような観点から、ケース・スタディⅡでは公共事業（政策）が地域社会に及ぼす影響をマクロ的に分析するために、地域マクロ・モデルを作成した。

このモデルを作ることにより、次のようなことが明確になった。

①公共投資の地域社会へ及ぼす影響は、最終需要に直接効いてくるフローとしての影響と、例えば道路施設のように継続して作用するストックとしての影響に分けてとらえることができる。^{注2)}そして、このようにして作られたモデルを用いることにより、公共投資と地域社会の関係をマクロ的に把握することが可能である。

②マクロ的な観点からの分析では、やはり量的に大きなものしか分析にならず、社会資本ストックの拡充による地域社会の質的な変化等の把握は困難である。したがって、河川や下水道等の投資の評価や社会資本ストックの影響を把握するためには、地域ミクロ・モデルを作成する必要があると考えられる。

③今回作成したモデルでは、種々の公共事業（政策）が地域社会に及ぼす影響の構造分析と、短期的な将来予測を定性的かつ定量的に行なうことができる。その方法および結果は本章第(4)節で述べたとおりである。

④以上は今回行なった分析の総合的な結論であるが、分析過程で明らかになったことやモデルの特質および限界を列挙すると次のようになる。

(a) 今回のモデルは統計的手法（重回帰分析手法）と産業連関分析手法（Balanced I/O法）から成り立っている。これらの手法は、過去のデータをもとにして定量化を行なうために、作られたモデルは現状推移型モデルとなる。

(b) したがって、このような統計的手法を用いたモデルは、使用したデータを収集した時期の特質を内包している。今回のモデルは高度成長期（昭和40～49年度）のデータを用いて作成したために、その時代の特徴が現われている。

(c) 計量統計モデルは、本来予測のためのものではなく、現状分析のための静的モデルである。そのような意味で、今回のモデルは、公共投資の影響の構造分析に用いられ

るべきであろう。

(d)長期の将来予測(例えば5年以上)を行なおうとすれば、現状では問題にならない要因が効いてくることがある。例えば過去における環境問題等がこれにあたる。このような問題に対処するためには、システム・ダイナミックス(SD)法を用いると有利であるといわれているが、構造分析を行ないながら将来予測を行なうには(超長期予測を行なう場合は除く)、やはり計量統計モデルにSD法的な考え方を組み込むことが適切であると考えられる。本モデルの環境サブモデルは、このような主旨で設定されたものである。

(e)本モデルの構成上の特徴としては、次のようなものがあげられる。

- ・公共投資の影響をフロー量とストック量によるものによって表現したこと
- ・Balanced L/O 法を用いた必要生産量の推定
- ・生産を需要と供給能力の両方から決定する生産調整サブモデルの導入
- ・環境サブモデルの導入
- ・モデル作成に使用するデータを training data と checking data に分けて用い、モデルの信頼性に対する検討をやりうる限り十分に行なったこと

(2) 今後の課題

今後の課題は次の2つにしばることができよう。

①マクロ・モデルの修正

今回のモデルを作る上で問題となったことや、検討を行なった多くの事柄をまとめて、完成された地域マクロ・モデルを作成する。その場合には、基本的なモデルの構造や用いる手法は本モデルを踏襲してもかまわないが、使用データはもう一度検討する必要がある。^{注1)}

②ミクロ・モデルの作成

現在検討を行なっている地域ミクロ・モデルの構想は、ここでは特に述べないが、分析の対象としては生活環境の分析と社会資本ストックの効果の詳細な評価が中心となる。例えば、ある都市圏を細かく分割し、人がその場所に住みついたのは土地が問題であったか、公園等の生活基盤の整備状況や通勤時間、さらには収入が問題であったかというようなことを細かく分析し、生活基盤整備としての公共投資を考えることになる。この場合の地域の生産活動や人口のトータル値は、マクロ分析(マクロ・モデル)から与えられなければならない。これは、生活環境とそれらのレベルのちがいがからみて何ら不都合ではなく、むしろそうあるべきであろうと考えられる。

今後の分析の方向としては、分析対象によりそれをマ

クロ的に取り扱うかミクロ的に取り扱うかを分類し、両者の整合をとるために別々に精度良く分析・予測することが考えられる。

6 結 論

本研究では、総合的かつ多角的な公共事業の計画策定手法について検討し、いくつかのケース・スタディを行なった。研究を進める過程において、具体的に検討した事柄や新たに問題となった点については本文中に述べたので、ここでは研究成果の概要のみを記して、本研究の結論とする。

①従来のこの種の研究は、何らかの観点(例えば環境面、経済面)から現象にアプローチしたものが多く、公共事業の影響を総合的に取り扱ったものは少なかったように思われる。また、影響を記述するために多くのモデルが作成されているが、ともすればその結果のみが議論され、モデル作成時に成された仮定や近似が結果に及ぼす影響は、モデル作成者以外には容易に理解することがむずかしく、いわゆる“モデルの一人歩き”が生じている場合が少なくない。

②そこで、本研究では、(a)影響を総合的に把握する場合の手順とその方法、(b)影響をモデル化して把握する場合のモデル作成の過程と作られるモデルの性格を明確にした。

(a)では、そのための方法論として計画マトリックス法を提案した。この方法により、影響・被影響項目が網羅的にリストアップされ、それらの相互関係が把握される。そして、そのような影響を定量的に把握する場合には、必ずしも単一の手法による必要はなく、影響項目をいくつかのグループに分けて、それぞれ精度良く把握すれば良いことを述べた。

(b)では、影響を把握するためのモデル作成の過程と、各過程で成される仮定やモデルに課される制約を明らかにした。

③ケース・スタディ I (事業計画における調査と分析・予測)では、上記②(a)の方法に従って、道路・河川改修・ダム事業の影響を総合的に把握するための、調査と分析・予測の体系的整理を行なった。この調査では、従来から考慮されている項目の外に、将来問題となると思われる項目についても検討した。ここでは、因果関係を事業計画マトリックスにより表示し、それを把握するために用いられる調査法、分析・予測手法(モデル化手法)のライブラリーを作成し、計画策定過程における調

注 1) 検討する対象が異なれば、モデルの基本構造を変える必要が生じる。本モデルは、建設関連の投資が生産環境や人口配置等と与える影響に特に注目したものであり、必要最小限の要因のみを考慮している。したがって、法・税制等の影響は明示的には取り扱っていない。それらを明示的に取り扱うためには、因果フロー(モデルの構造)の変更が必要となる。

査と分析・予測の位置づけを行なった。これを用いることにより、各種事業の影響を総合的に把握するための方法を知ることができる。

④ケース・スタディⅡ（公共事業が地域社会に及ぼす影響を把握するための地域マクロ・モデル）では、建設省関連の公共投資が地域社会に及ぼす影響をマクロ的に把握するために、上記②の(b)の方法で地域マクロ・モデルを作成した。ケース・スタディⅠは、どちらかというミクロ的な視点から個々の公共事業の影響を総合的に調査したものであるが、ケース・スタディⅡでは、それらの総体が及ぼすマクロ的な影響について検討した。

このモデルは計量統計モデルであり、産業連関分析手法（Balanced I/O モデル）と多変量解析手法を用いて作成した。これを用いることにより、公共投資政策が地域社会の生産環境や生活環境等に及ぼす影響を知ることができる。

⑤ケース・スタディⅠおよびⅡは、単に提示した考え方や手法の検証のために行なったものではなく、その実施にあたっては多くの時間と労力を費やした。その結果として得られたケース・スタディⅠにおける調査分析・予測手法のライブラリーや、ケースⅡの地域マクロ・モデルなどは、現実の計画策定のために活用することが可能であると考えられる。

謝 辞

本研究は、元システム課の現四国地方建設局永井河川部長、近畿地方建設局三好専門官、土木研究所金井研究員をはじめ、学習院大学（経済学部）川嶋教授、建設省技術研究会で共同調査を行なった各地方建設局の方々や、システム課研究員、遠藤研究員、長門技官の協力のもとで実施したものである。また、研究を進めるにあたっては京都大学吉川教授、北海道大学五十嵐教授、東京工業大学吉川教授からは有益な情報を提供していただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 吉川和広：交通施設の整備による地域経済の開発とその効果の測定，土木学会論文報告集，1963年7月。
- (2) 広長良一，他：低湿地緩流河川の治水計画について——淀屋川水系の調査から計画樹立まで——，土木学会論文報告集，1954年7月。
- (3) Leontief W. et al.: The Economic Impact—Industrial and Regional—of An Arms Cut. The Review of Economic and Statistics, Vol. XL VII Ⅲ 3 August 1965.

- (4) 国際基督教大学：本州四国連絡橋が地域経済に及ぼす影響の測定に関する研究，1970年3月。
- (5) 建設省道路局：国土開発幹線自動車道の波及効果に関する調査，1971年3月。
- (6) Leopold L.B. et al.: A Procedure for Evaluating Environmental Impact, Washington D.C., Geological Survey, 1971.
- (7) Sorensen J.C.: A Framework for Identification and Control of Resource Degradation and Conflict in the Multiple Use of the Coastal Zone, 1971.
- (8) Fisher D., Davis G.: An Approach to Assessing Environmental Impact, Journal of Environmental Management, Vol. I, 1973.
- (9) The National Environmental Policy Act (U.S.A.) 1969.
- (10) 中村英夫，他：システム・マトリックス法による環境アセスメント，土木学会論文報告集，1976年4月。
- (11) 建設省土木研究所企画部システム課：土木計画における調査と分析，土木研究所資料第1075号，1975年11月。
- (12) 建設省土木研究所企画部システム課，他：河川および道路の事業計画作成のシステム化に関する研究，第27回建設省技術研究会，1973年11月。
- (13) 建設省土木研究所企画部システム課，他：建設事業計画における情報のシステムマチックな収集・利用手法に関する研究，第28回建設省技術研究会，1974年11月。
- (14) 建設省土木研究所企画部システム課，他：建設事業計画における情報のシステムマチックな収集・利用手法に関する研究（道路事業計画論，河川改修・ダム事業計画論），第29回建設省技術研究会，1975年11月。
- (15) 建設省土木研究所企画部システム課：地域計画策定手法に関する研究，土木研究所資料第1114号，1976年3月。
- (16) 建設省土木研究所企画部システム課：地域マクロ・モデルに関する研究，土木研究所資料第1240号，1977年3月。
- (17) 経済審議会計量委員会編：計量委員会第4次報告，1973年11月。
- (18) 建設省大臣官房技術調査室：計量モデル資料集（経済社会基本計画関連），1973年8月。
- (19) 経済企画庁総合計画局：PROJECT COSMO（案）（第一次総合システムモデル報告），1973年11月。
- (20) 経済企画庁総合計画局：地域連関計量モデルによる地域構造変化の予測，1974年3月。
- (21) 三菱総合研究所：地域分散政策とその効果（シミュ

- レーション・モデルによる算定), 1973年12月
- (23) 建設省道路局: 道路投資の規模・地域配分に関する分析, 1976年3月
- (24) 建設省道路局: 地域経済計算モデル(本州四国連絡橋の経済効果), 1970年6月
- (25) 伊藤滋, 他: 南関東地域を対象とした広域圏土地利用・交通モデル, 都市計画74号, 1973年3月
- (26) 経済企画庁経済研究所編: 地域開発の事後分析(経済指標と社会指標による考察), 経済分析第62号, 1976年8月
- (27) 建設省関東地方建設局: 大都市圏土地利用交通モデルの開発, 1976年3月
- (28) (財) 社会開発総合研究所: 土地利用計画報告書(中部圏計量モデル), 1974年3月
- (29) (財) 関西情報センター: 大阪府地域計量モデルに関する研究, 1972年3月
- (30) センチュリ・リサーチ・センター-K.K.: 茨城県経済社会の福祉経済モデルによる長期展望, 1974年3月
- (31) 香川県総合交通体系調査委員会: 瀬戸大橋架橋と香川県総合交通体系調査報告書, 1971年3月
- (32) 瀬戸内海大橋架橋関連開発計画調査委員会: 瀬戸内海大橋架橋関連開発計画調査報告書, 1971.
- (33) 安東征治, 他: 地方中核都市モデル, FUJITSU, Vol.26, 版4, 1975.
- (34) 日本道路公団: 高速道路インパクトの事前評価手法の開発, 1976年2月
- (35) Forrester J.W.: Industrial Dynamics, M.I.T. Press, 1961, (訳) 石田, 他, インダストリアル・ダイナミクス, 紀伊国屋書店, 1971.
- (36) Forrester J.W.: Urban Dynamics, M.I.T. Press, 1969, (訳) 小玉, アーバン・ダイナミクス, 日本経営出版会, 1970.
- (37) Forrester J.W.: World Dynamics, Wright-Allen Press, 1971, (訳) 小玉, ワールド・ダイナミクス, 日本経営出版会, 1971.
- (38) 島田俊郎: SDの歴史とSDモデルの信頼性, オペレーションズ・リサーチ, 1976年3月
- (39) 金子昇一: 都市公共政策のシステム分析(埼玉ダイナミック・モデルの開発), オペレーションズ・リサーチ, 1976年3月
- (40) 松崎功保, 他: SDによる長期総合計画策定支援システム(兵庫ダイナミック・モデル), オペレーションズ・リサーチ, 1976年3月
- (41) 磐むつ小川原総合開発センター: むつ小川原地域大規模開発計画調査(広域土地利用計画調査), 1974年3月
- (42) 建設省都市局: 大規模地方中核都市のインパクト分析調査, 1974年3月
- (43) 斉藤達三, 他: 都市政策のためのシステム分析(広島における都市基本構造ダイナミック・モデル), 都市計画81号, 1974年12月
- (44) 住宅地審議会: 今後の宅地政策の基本方針について, 1976年3月
- (45) (財) 機械振興協会新機械システムセンター: 地方中核都市のヴィジョン, 1973年3月
- (46) 梶秀樹: 土地利用ダイナミックモデルの研究(1), 日本都市計画学会学術研究会発表論文集, 1974
- (47) 建設省近畿地方建設局企画部: 水管理トータルシステムに関する調査報告書版1~版2, 1975~1976.
- (48) 高橋琢馬, 他: 水の需給構造に関するシステム・ダイナミクス論的研究, 土木学会論文報告集, 1977年3月
- (49) 建設省土木研究所企画部システム課: 地域マクロ・モデル資料集, 1977(予定)
- (50) 建設省土木研究所企画部システム課: 公共事業の総合的インパクトを把握するための地域モデルの開発, 1975年3月
- (51) 福地崇生: 地域経済学, 有斐閣双書, 1974年8月
- (52) 建元正弘: 社会人のための計量経済学, 日本経済新聞社, 1973年5月
- (53) 岩松・関・吉川・三好: 流域における水循環の把握と水資源の配分に関する研究, 土木研究所報告版149, 1977.
- (54) 三好・関・吉川, 他: 流域における水循環の把握と水資源の配分に関する研究, 土木学会論文報告集, 1978年1月(予定)
- (55) 土木学会編: 土木計画学の領域と構成(土木計画学シリーズⅡ), 技報堂, 1976年1月
- (56) 建設省土木研究所企画部システム課: 土木計画論, 土木研究所資料第971号, 1975年11月
- (57) 宇沢弘文: 近代経済学の再検討—批判的展望—, 岩波新書, 1977.
- (58) 地域モデルの参考文献としては, 上記の外に付録4.に示すものがある。

(昭和52年8月19日原稿受理)

〔 付 録 〕

付 録 目 次

1. 付録の内容と構成	(35)
2. 構造型とサブモデルの詳細	(35)
(1) 構 造 式	(35)
(2) 各サブモデル	(35)
3. データ出典一覧表	(40)
(1) 生産・所得関係	(41)
(2) 支出関係	(41)
(3) 資本形成・資本ストック関係	(41)

(4) 人口・面積・労働時間関係	(42)
(5) 道路関係	(42)
(6) 水資源関係	(42)
(7) 環境関係	(43)
4. 参考文献の補足(地域モデルの分類)	(43)
(a) モデルの分類方法	(43)
(b) 参考文献一覧表	(43)

1 付録の内容と構成

ここでは、ケース・スタディⅡ(地域マクロ・モデル)の構造型とモデル化に際して行なった仮定や近似のうち本文中に記さなかったこと、使用データの出典、地域モデルに関する参考文献(分類整理したもの)について補足しておく。

2 構造型とサブモデル

(1) 構 造 式^{注1)}

構造推定では、種々の代替式を作成して、そのうちで最も適当と考えられるものを採用した。ここでは、その結果採用された式を列挙する(記号については本文を参照のこと)。

① 政策セクター

一般政府総固定資本形成のうち、道路・水資源・生活関連投資額は、本モデルでは政策変数である。しかし、従来のパターンによる投資が行なわれた場合の影響を見るためには、構造型を作成しておく必要がある。

$$\bullet \text{ 政府総固定資本形成}(J) = 0.97488 \times \text{純生産}(J) \quad (28.9) \\ + 1178.43 \quad \dots\dots (1)$$

$$(PL) \quad R=0.97670 \quad MAPE=13.97$$

$$\bullet \text{ 道路投資}(J) = 0.22916 \times \text{政府総固定資本形成}(J) \quad (40.1) \\ + 129.021 \quad \dots\dots (2)$$

$$(PL) \quad R=0.97372 \quad MAPE=13.60$$

$$\bullet \text{ 生活基盤関連投資}(J) = 0.113922 \times \text{政府総固定資本形成}(J) \quad (22.9) \quad \dots\dots (3)$$

$$(PL) \quad R=0.95751 \quad MAPE=28.3$$

$$\bullet \text{ 水資源関連投資}(J) = 0.054084 \times \text{政府総固定資本形成}(J) \quad (26.6) \\ - 43.67 \quad \dots\dots (4)$$

$$(PL) \quad R=0.94301 \quad MAPE=24.8$$

注1) 以下の記述では、特別な場合以外は年度を示す変数Tは省略してある。また、各係数・定数の桁数は計算上のものであり、必ずしも有効数字の桁数とは一致しない。

② 社会資本ストック・セクター

各種の社会資本ストックに関する式は、ストックの減耗率を考慮して、次のような式を採用した。

$$\bullet \text{ 道路資本ストック}(J) = 0.92683 \times \text{道路資本ストック}(J)_{-1} + \text{道路投資}(J) \quad (28.82) \quad \dots\dots (5)$$

$$(PL) \quad R=0.99973 \quad MAPE=2.6$$

$$\bullet \text{ 生活基盤関連資本ストック}(J) = 0.97778 \times \text{生活基盤関連資本ストック}(J)_{-1} + \text{生活基盤関連投資}(J) \quad (30.6) \quad \dots\dots (6)$$

$$(PL) \quad R=0.99976 \quad MAPE=1.8$$

$$\bullet \text{ 水資源関連資本ストック}$$

これは水供給サブモデルで水供給能力として与えられる。

$$\text{水資源関連資本ストック}(J) \rightarrow \text{水供給能力}(J) \quad (22)$$

$$= \text{水供給能力}(J)_{-1} + \frac{\text{水資源関連投資}(J)}{\text{開発コスト}(J)} \quad \dots\dots (7)$$

注1) (5), (6)式の定数は最小2乗法により決定した。

注2) 水資源関連施設の耐用年数は相対的に大であると考えて、減耗は考慮しなかった。

③ 最終需要セクター^{注1)}

$$\bullet \text{ 家計外消費支出(全国)} = 0.025377 \times \text{純生産(全国)}_{-1} + 1323.5.6 \quad (11.49) \quad \dots\dots (8)$$

$$(Tr) \quad R=0.99973 \quad MAPE=0.23 \quad DW=1.50$$

$$\text{家計外消費支出}(J) = \text{家計外消費支出(全国)} \times \frac{\text{純生産}(J)_{-1}}{\text{純生産(全国)}_{-1}} \quad \dots\dots (8')$$

$$\bullet \text{ 政府総固定資本形成; ①政策セクター参照}$$

$$\bullet \text{ 一般政府消費支出}(J) = 0.030974 \times \text{純生産}(J)_{-1} + 0.21862 \times \text{人口}(J)_{-1} + 262.587 \quad (8.85) \quad \dots\dots (9)$$

$$(PL) \quad R=0.98478 \quad MAPE=10.7$$

$$\bullet \text{ 民間総固定資本形成}$$

$$\text{ア) 民間設備投資}(J); \text{⑥生活・生産環境セクターで算定される。}$$

$$\begin{aligned} \text{イ) 民間住宅投資}(J) &= 0.61077 \times \text{民間住宅投資}(J)_{-1} \\ &+ 0.032803 \times \text{純生産}(J)_{-1} + 0.69573 \\ &\times \text{人口増}(J)_{-1} + 19.2833 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(P\%) \quad R = 0.98770 \quad \text{MAPE} = 9.2$$

$$\begin{aligned} \text{・民間消費支出}(J) &= 0.35585 \times \left[\frac{\text{DEF}}{\text{DEF}_{-1}} \right] \times \text{純生産}(J)_{-1} \\ &+ 1.2885 \times \text{人口}(J)_{-1} - 1427.18 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(P\%) \quad R = 0.99684 \quad \text{MAPE} = 5.01$$

$$\begin{aligned} \text{・在庫投資}(J) &= 0.136354 \times \text{在庫投資}(J)_{-1} \\ &\times \text{純生産}(J)_{-1} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(P\%) \quad R = 0.89608 \quad \text{MAPE} = 4.77$$

$$\begin{aligned} \text{・輸出}(I) &= 0.60880 \times \text{製造業純生産(全国)}_{-1} \\ &- 11128.0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(Tr) \quad R = 0.98502 \quad \text{MAPE} = 4.65 \quad \text{DW} = 1.43$$

$$\begin{aligned} \text{イ) 運輸・通信業輸出}(8) &= 0.69440 \\ &\times \text{運輸・通信業純生産(全国)}_{-1} - 32405.2 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$(Tr) \quad R = 0.98046 \quad \text{MAPE} = 13.0 \quad \text{DW} = 1.07$$

$$\begin{aligned} \text{ロ) 分類不明輸出}(9) &= 0.0029636 \times \text{全財純生産(全国)}_{-1} \\ &- 333.886 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$(Tr) \quad R = 0.99429 \quad \text{MAPE} = 3.33 \quad \text{DW} = 1.18$$

$$\begin{aligned} \text{・輸入}(I) &= 0.029915 \times \text{全財純生産(全国)}_{-1} \\ &- 0.15012 \times \text{農林水産業純生産(全国)}_{-1} \\ &- 1897.86 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(Tr) \quad R = 0.94458 \quad \text{MAPE} = 6.24 \quad \text{DW} = 2.17$$

$$\begin{aligned} \text{イ) 鉱業輸入}(5) &= 0.048437 \times \text{全財純生産(全国)}_{-1} \\ &+ 2388.15 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$(Tr) \quad R = 0.97152 \quad \text{MAPE} = 5.27 \quad \text{DW} = 2.52$$

$$\begin{aligned} \text{ロ) 製造業輸入}(7) &= 0.32775 \times \text{製造業純生産(全国)}_{-1} \\ &- 0.35420 \times \text{製造業純生産(全国)}_{-1} \\ &- 13902.5 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$(Tr) \quad R = 0.95632 \quad \text{MAPE} = 11.0 \quad \text{DW} = 1.48$$

$$\begin{aligned} \text{ハ) 分類不明輸入}(9) &= 0.0017253 \times \text{全財純生産(全国)}_{-1} \\ &- 241.380 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$(Tr) \quad R = 0.99092 \quad \text{MAPE} = 5.03 \quad \text{DW} = 0.72$$

注1) 各地域の最終需要の財別構成比は、将来推定を行なう場合には別途に決定する必要がある。

注2) DEF: デフレーター

注3) 在庫投資については、財別・地域別の時系列データが入手できなかったために、全産業についての式を作成し、財別投資額は比率を与えて計算した(昭和45年度の比率)。この仮定は多少強引であるが、在庫投資額自体あまり大きくないので、全体の精度上は問題はない。

注4) 輸出については、それが物価指数と海外の情勢等によりさまざまな影響をうけるので、精度の良い回帰式を作るの

はむずかしい。そのために、本モデルでは純生産を説明変数とした単純な式を採用し、国内の生産額に比べて十分に小さな財については構造式を作成しなかった。

注5) 構造式の推定方針は上記輸入の場合と同様である。また、輸入は最終需要ではないが、各種の最終需要項目と伴に①の必要生産量推定サブモデルに入力されるので、便宜上ここに含めた。

注6) $|t\text{-value}|$ が2より小さい場合には、その項の有意性は低いのでとり除いてもよい。しかし、今回の構造式の推定ではデータの制約等の理由により、よりよい代替式を作ることでかたきない場合には、MAPEがある値以下ならば、式の意味を明示するためにその項を残した式も採用した。

④ 生産能力(生産能力関数)推定セクター

$$\text{・生産能力}(1, J) = 0.092439 \times \text{Exp} \left(\frac{0.089895 \times T}{80.0} \right)$$

$$\times \text{就業者数}(1, J) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(P\%) \quad R = 0.99631 \quad \text{MAPE} = 0.69$$

$$\text{・生産能力}(2, J) = 0.098944 \times \text{Exp} \left(\frac{0.086320 \times T}{83.0} \right)$$

$$\times \text{就業者数}(2, J) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(P\%) \quad R = 0.99631 \quad \text{MAPE} = 0.69$$

$$\text{・生産能力}(3, J) = 0.341947 \times \text{Exp} \left(\frac{0.026913 \times T}{82.0} \right)$$

$$\times \text{民間資本ストック}(3, J) \times \left[\frac{\text{就業時間}(I=3)}{\text{労働時間}(I=3)} \right] \times \text{就業者数}(3, J) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(P\%) \quad R = 0.98044 \quad \text{MAPE} = 1.7$$

$$\text{・生産能力}(4, J) = 0.20792 \times \text{Exp} \left(\frac{0.078298 \times T}{12.56} \right)$$

$$\times \text{就業者数}(4, J) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$(P\%) \quad R = 0.96230 \quad \text{MAPE} = 1.3$$

$$\text{・生産能力}(5, J) = 1.67665 \times \text{民間資本ストック}$$

$$\times \left[\frac{\text{就業時間}(I=5)}{\text{労働時間}(I=5)} \right] \times \text{就業者数}(5, J) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$(P\%) \quad R = 0.93597 \quad \text{MAPE} = 4.77$$

$$\text{・生産能力}(6, J) = 0.82928 \times \text{民間資本ストック}(6, J)$$

$$\times \left[\frac{\text{就業時間}(I=6)}{\text{労働時間}(I=6)} \right] \times \text{就業者数}(6, J) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(P\%) \quad R = 0.99462 \quad \text{MAPE} = 0.78$$

$$\text{・生産能力}(7, J) = 0.23457 \times \text{Exp} \left(\frac{0.031133 \times T}{8.52} \right)$$

$$\times \text{民間資本ストック}(7, J) \times \left[\frac{\text{就業時間}(I=7)}{\text{労働時間}(I=7)} \right] \times \text{就業者数}(7, J) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$(P\%) \quad R = 0.99440 \quad \text{MAPE} = 1.02$$

公共事業の計画策定手法に関する研究 (I)

$$\begin{aligned} \bullet \text{生産能力}(S, J) &= 0.047373 \times \text{Exp}(0.031352 \times T) \\ &\times \left[\text{就業者数}(S, J) \times \frac{\text{労働時間}(I=8)}{\text{労働時間}(I=8)} \right]^{L0954} \\ &\times \left[\text{アタセシビリティー}(J) \right]^{-0.81986} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$(P\%) \quad R=0.99588 \quad \text{MAPE}=0.77$$

注1) $I=9, 10$ については生産能力関数(生産能力)は設定しなかった。したがって、本モデルでは、 $I=9, 10$ については必要生産量だけ生産されることになる。なお、 T は昭和年度を示す。

⑤ 道路セクター

$$\bullet \text{容量台キロ(12時間容量台キロ)}(J) = 0.303856$$

$$\begin{aligned} &\times \text{道路資本ストック}(J)^{1.23597} \\ &\times \left[\frac{\text{純生産}(J)}{\text{可住地面積}(J)} \right]^{-0.49926} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$(P\%) \quad R=0.97779 \quad \text{MAPE}=1.37$$

$$\bullet \text{走行台キロ(12時間走行台キロ)}(J) = 18.5881$$

$$\times \text{人口}(J)^{-0.230114} \times \text{自動車保有台数}(J)^{-0.637896} \dots\dots\dots (2)$$

$$(P\%) \quad R=0.99040 \quad \text{MAPE}=0.89$$

$$\bullet \text{混雑度}(J)^{\text{注1)}} = \frac{\text{走行台キロ}(J)}{\text{容量台キロ}(J)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{自動車保有台数}(J) &= 0.0026728 \times \text{純生産}(J)^{-1} \\ &+ 0.0004088 \times \text{アタセシビリティー}(J)^{-1} + 0.0038943 \\ &\times \text{人口}(J)^{-1} - 122.69 \times \left(\frac{\text{DEF}}{\text{DEF}-1} \right) + 12.115 \\ &\times T - 389.721 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$(P\%) \quad R=0.98841 \quad \text{MAPE}=9.6$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{走行速度}(J) &= 48.6358 - 2.59787 \times \text{混雑度}(J) \\ &+ 4.54410 \times \left[\frac{\text{道路資本ストック}(J)}{\text{可住地面積}(J)} \right] - 5.56295 \\ &\times \left[\frac{\text{人口}(J)}{\text{可住地面積}(J)} \right] \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$(P\%) \quad R=0.579 \quad \text{MAPE}=4.67$$

⑥ 地域間時間距離^{注2)}

$$\begin{aligned} \text{地域間時間距離(当該地区と隣接地区)} &\times \left[\text{走行速度(当該地区)} + \text{走行速度(隣接地区)} \right] / 2 \\ &= \text{const}(J) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

⑦ 地域内時間距離^{注2)}

$$\text{地域内時間距離}(J) \times \text{走行速度}(J) = \text{const}(J) \dots\dots\dots (3)$$

注1) この混雑度は、道路交通情勢調査とは定義が異なるが、傾向は一致している。

注2) 多数の代替式を作成したが、良好な回帰式が得られなかったために、このような式を作成した。これらの式は、地域内あるいは地域間の距離があまり変化しないことに着目して仮定した式である。(33), (34) 式のconst.の値は次表のようになる。使用データは昭和40~45年度のものであり、const.の時系列変化を考慮した方がよいものについてはconst.(J, T)とした。

表-1 (33), (34) 式のconst.の値

TIME(J, I)	(33) 式のconst.	TIME(J)	(34) 式のconst.
北海道~東北	1,337.40 - 3.7820 × T	北海道	200.38
東北~関東	637.44	東北	423.50
関東~北陸	778.03	関東	246.35
北陸~近畿	697.98	北陸	242.63
近畿~中国	537.87	近畿	213.03
中国~九州	485.05	中国	171.20
九州~四国	480.96	九州	326.96
四国~九州	403.97	四国	270.77
九州~四国	485.68	九州	343.05
中国~九州	1,212.30 - 17.2050 × T		
九州~中国	930.16 - 7.0120 × T		
近畿~四国	1,218.91 - 17.696 × T		

⑧ 生活・生産環境セクター

① 人口^{注1)}

$$\begin{aligned} \text{人口}(J) \times \frac{\text{人口(全国)}}{\text{人口(全国)}}^{-1} &= 1.00393 \times \text{人口}(J)^{-1} \\ &+ 123.728 \times \left[\frac{\text{純生産}(J)}{\text{人口}(J)} - \frac{\text{純生産(全国)}}{\text{人口(全国)}} \right] \\ &+ 0.00206103 \times \left[\text{アタセシビリティー}(J) \right. \\ &\left. - \frac{\text{アタセシビリティー(全国)}}{9} \right] - 56.8898 \\ &\times \left[\frac{\text{人口}(J)}{\text{可住地面積}(J)} - \frac{\text{人口(全国)}}{\text{可住地面積(全国)}} \right] \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$(P\%) \quad R=0.999984 \quad \text{MAPE}=0.6$$

注1) 人口の全国値は外生変数とし、厚生省の推定値を用いた。この式により、人口の地域間の移動量が推定される。

② 就業者数

<記号定義>

$$L^*(I, J) = L(I, J) \times \frac{\text{人口}(J)^{-1}}{\text{人口}(J)}$$

$$L(I, J); I \text{ 財産業 } J \text{ 地域 の 就業者数}$$

$$\Delta PR(I, J) = PR(I, J) - PR(I, J)_{-1}$$

$$PR(I, J); I \text{ 財産業 } J \text{ 地域 の 純生産}$$

$$\text{ACC}^*(J) = \text{ACC}(J) - \frac{\text{ACC}(J)}{9}$$

$$\text{ACC}(J); J \text{ 地域 の アタセシビリティー}$$

$$\rho^*(J) = \frac{\text{人口}(J)}{\text{可住地面積}(J)} - \frac{\text{人口(全国)}}{\text{可住地面積(全国)}}$$

$$\text{PRL} = \frac{PR(I, J) - PR(I, \text{全国})}{L(I, J) - L(I, \text{全国})}$$

ア) 商業・金融・不動産業

$$L^*(1, J) = 11.1658 + 1.00224 \times L(1, J)_{-1} \dots\dots (36)$$

$$(PL) \quad R = 0.99981 \quad MAPE = 1.6$$

イ) サービス業

$$L^*(2, J) = 1.00883 \times L(2, J)_{-1} - 10.3997 \times \rho^*(J) \dots\dots (37)$$

$$(PL) \quad R = 0.99980 \quad MAPE = 1.5$$

ウ) 電気・ガス・水道業

$$L^*(3, J) = 1.01193 \times L(3, J)_{-1} + 0.0000248511 \dots\dots (38)$$

$$\times ACC^*(J) + 0.0826779 \times PRL^*(3, J)_{-1} \dots\dots (38)$$

$$(PL) \quad R = 0.99945 \quad MAPE = 4.1$$

エ) 農林水産業

$$L^*(4, J) = 0.945217 \times L(4, J)_{-1} - 30.5438 \times \rho^*(J) \dots\dots (39)$$

$$(PL) \quad R = 0.99920 \quad MAPE = 3.9$$

オ) 鉱業

$$L^*(5, J) = 0.911866 \times L(5, J)_{-1} + 0.000192085 \dots\dots (40)$$

$$\times ACC(J)_{-1} - 2.76047 \times \rho^*(J) \dots\dots (40)$$

$$(PL) \quad R = 0.98256 \quad MAPE = 10.3$$

カ) 建設業

$$L^*(6, J) = 1.02745 \times L(6, J)_{-1} - 7.91525 \times \rho^*(J) \dots\dots (41)$$

$$(PL) \quad R = 0.99973 \quad MAPE = 1.9$$

キ) 製造業

$$L^*(7, J) = 1.00375 \times L(7, J)_{-1} - 37.4882 \times \rho^*(J) \dots\dots (42)$$

$$(PL) \quad R = 0.99965 \quad MAPE = 2.6$$

ク) 運輸・通信業

$$L^*(8, J) = 0.998702 \times L(8, J)_{-1} + 0.0036057 \dots\dots (43)$$

$$\times \Delta PR(8, J) \dots\dots (43)$$

$$(PL) \quad R = 0.99989 \quad MAPE = 1.8$$

コ) 公務

$$L^*(10, J) = 1.10599 + 1.00726 \times L(10, J)_{-1} \dots\dots (44)$$

$$(PL) \quad R = 0.99973 \quad MAPE = 2.0$$

注1) I = 9 の分類不明については、データの入手が困難であったために、構造式を作成しなかった。

・民間設備投資 $\bar{K}(I, J)$ ^{注1)}

民間設備投資関数 $\bar{K}$ はすべての産業に対して設定したわけではなく、生産関数に民間資本ストック $K(I, J)$ が組み込まれている産業に限定して作成した。

<記号定義>

$$\Delta PR(I, J) = PR(L, J) - PR(I, J)_{-1}$$

$$\Delta \text{人口}(J) = \text{人口}(J) - \text{人口}(J)_{-1}$$

フ) 電気・ガス・水道業

$$K(3, J) = 0.69084 \times \Delta PR(3, J) + 0.045166 \dots\dots (45)$$

$$\times ACC(J)_{-1} - 537.973$$

$$(PL) \quad R = 0.71003 \quad MAPE = 51.8$$

ヘ) 農林水産業

$$K(4, J) = 4.0673 \times \Delta \text{人口}(J) - 563.50 \dots\dots (46)$$

$$\left[\frac{\text{人口}(J)}{\text{可住地面積}(J)} \right] + 94.574 \times T \dots\dots (46)$$

$$(PL) \quad R = 0.71941 \quad MAPE = 45.3$$

ホ) 鉱業

$$K(5, J) = 0.64652 \times \text{純生産}(5, J)_{-1} - 6.1517 \dots\dots (47)$$

$$(PL) \quad R = 0.68870 \quad MAPE = 48.3$$

ニ) 建設業

$$K(6, J) = 0.14668 \times \Delta PR(6, J) + 0.0089109 \dots\dots (48)$$

$$\times ACC(J)_{-1} + 1.1789 \times \Delta \text{人口}(J) - 83.690 \dots\dots (48)$$

$$\times \frac{\text{人口}(J)}{\text{可住地面積}(J)} + 43.1569 \dots\dots (48)$$

$$(PL) \quad R = 0.86251 \quad MAPE = 33.8$$

ハ) 製造業

$$K(7, J) = 0.065662 \times \Delta PR(7, J) + 0.11419 \dots\dots (49)$$

$$\times ACC(J)_{-1} + 12.954 \times \Delta \text{人口}(J) - 494.019 \dots\dots (49)$$

$$(PL) \quad R = 0.90978 \quad MAPE = 29.5$$

注1) $\bar{K}$ としては定数項のある形とない形について検討したが、前者が安定性の上ですぐれていたため、すべて定数項のある形に統一した。その他の産業については、シミュレーション時には伸び率を仮定した。

・民間資本ストック (I, J)

民間資本ストック関数は全ての産業について作成する必要はなく、生産関数にそれが組み込まれている産業についてのみでよい。関数の形は②の社会資本ストックと同様にした。

$$K(3, J) = 0.984085 \times K(3, J)_{-1} + \bar{K}(3, J) \dots\dots (50)$$

$$(PL) \quad R = 0.98802 \quad MAPE = 9.4$$

$$K(4, J) = 0.988706 \times K(4, J)_{-1} + \bar{K}(4, J) \dots\dots (51)$$

$$(PL) \quad R = 0.99725 \quad MAPE = 6.81$$

$$K(5, J) = 0.970211 \times K(5, J)_{-1} + \bar{K}(5, J) \dots\dots (52)$$

$$(PL) \quad R = 0.98326 \quad MAPE = 10.5$$

$$K(6, J) = 0.995973 \times K(6, J)_{-1} + \bar{K}(6, J) \dots\dots (53)$$

$$(PL) \quad R=0.99924 \quad MAPE=5.02$$

$$*) \quad K(7, J) = \frac{0.993599}{(114)} \times K(7, J)_{-1} + \bar{K}(7, J) \dots (5)$$

$$(PL) \quad R=0.99877 \quad MAPE=6.39$$

(2) サブモデル

⑦ 必要生産量推定サブモデル

昭和40, 45年度の産業連関表よりRAS法で求めたRおよびSマトリックスの対角要素は、次のような値である。^{注1)}

表-2 RAS法で求めたRおよびSマトリックスの対角要素

$r_1=1.034289$	$r_2=1.008077$	$r_3=0.957726$	$r_4=0.933638$
$r_5=0.996551$	$r_6=0.987130$	$r_7=1.008695$	$r_8=0.938983$
$r_9=1.131629$	$r_{10}=1.00000$		
$s_1=1.008604$	$s_2=1.055255$	$s_3=0.996187$	$s_4=1.015164$
$s_5=0.976546$	$s_6=0.988523$	$s_7=0.995294$	$s_8=0.999925$
$s_9=1.005329$	$s_{10}=1.00000$		

注1) これらの r_i および s_j は1年当りの変化を示す値として相対的な値であり、外挿シミュレーションを行なう場合にはもう少し1.0に近い値にすることも考えられる。

$$*) \quad Y(5, J) = \frac{0.606955}{(125)} \times Y^*(5, J) + \frac{0.178793}{(238)} \dots (5)$$

$$\times Q(5, J)_{-1}$$

$$(PL) \quad R=0.985378 \quad MAPE=12.9$$

$$*) \quad Y(6, J) = \frac{0.655884}{(122)} \times Y^*(6, J) + \frac{0.285086}{(281)} \dots (5)$$

$$\times Y(6, J)_{-1} + \frac{0.04650329}{(835)} \times Q(6, J)_{-1} \dots (5)$$

$$(PL) \quad R=0.99843 \quad MAPE=4.8$$

$$*) \quad Y(7, J) = \frac{1.166699}{(201)} \times Y^*(7, J) - \frac{0.3610091}{(-505)} \dots (5)$$

$$\times Y(7, J)_{-1} + \frac{0.1096675}{(885)} \times Q(7, J)_{-1} \dots (5)$$

$$(PL) \quad R=0.99778 \quad MAPE=5.5$$

$$*) \quad Y(8, J) = \frac{0.17006}{(213)} \times Y^*(8, J) + \frac{0.884184}{(133)} \dots (5)$$

$$\times Q(8, J)_{-1}$$

$$(PL) \quad R=0.998369 \quad MAPE=5.4$$

$$*) \quad Y(10, J) = \frac{1.0355}{(245)} \times Y(10, J)_{-1} + \frac{0.0022041}{(156)} \dots (5)$$

$$\times \text{全財純生産}(J)_{-1} + 30.6865$$

$$(PL) \quad R=0.99612 \quad MAPE=17.9$$

注1) モデルでは、 $i=9$ については必要生産量だけ生産が行なわれる構造となっている(データの制約による)。

⑧ 生産調整サブモデル^{注1)}

<記号定義>

- $Y(I, J)$: 純生産
 $Y^*(I, J)$: 必要生産量
 $Q(I, J)$: 生産能力
 $M(I, J)$: 生産目標

$$*) \quad Y(1, J) = \frac{0.746636}{(588)} \times Y^*(1, J) + \frac{0.480984}{(388)} \dots (5)$$

$$\times Q(1, J)_{-1}$$

$$(PL) \quad R=0.998356 \quad MAPE=9.3$$

$$*) \quad Y(2, J) = \frac{0.128411}{(241)} \times Y^*(2, J) + \frac{1.05138}{(255)} \dots (5)$$

$$\times Q(2, J)_{-1}$$

$$(PL) \quad R=0.99789 \quad MAPE=7.2$$

$$*) \quad Y(3, J) = \frac{1.22369}{(169)} \times Y^*(3, J) + \frac{0.0223969}{(222)} \dots (5)$$

$$\times Q(3, J)_{-1}$$

$$(PL) \quad R=0.993478 \quad MAPE=7.6$$

$$*) \quad Y(4, J) = \frac{0.6841544}{(434)} \times Y^*(4, J) + \frac{0.2758187}{(-421)} \dots (5)$$

$$\times Y(4, J)_{-1} - \frac{0.01740087}{(-421)} \times Q(4, J)_{-1}$$

$$(PL) \quad R=0.99782 \quad MAPE=6.2$$

⑨ 環境サブモデル

環境サブモデルにおける汚染発生量は、生産調整サブモデルで与えられる生産量(財別)、道路セクターで与えられる交通量(車種別)および人口に排出原単位を掛けることにより算定する。

<記号定義>

$\bar{F}_M(I)$: I財のM汚染物質の発生原単位(M=1: SO_x, M=2: BOD負荷, M=3: ダスト(すず, 粉じん), M=4: 産業廃棄物)

$\bar{F}'_N(R)$: 車種別のN汚染物質の発生原単位(R=1: 乗用車, R=2: 小型車, R=3: 大型車, N=1: CO, N=2: HC, N=3: NO_x)

$\bar{F}''_L(J)$: 1人当りのL汚染物質の発生原単位(L=1: BOD負荷)

$P_M(J)$: J地域の産業活動によるM汚染物質の排出量

$P_N(J)$: J地域の自動車によるN汚染物質の排出量

$P_L(J)$: J地域の人間生活によるL汚染物質の排出量

このような記号を用いると、各地域の汚染物質排出量は次のような式で算定される。

$$P_M(J) = \sum_{i=1}^{10} \bar{F}_M(i) \times \text{生産量}(I, J) \dots (6)$$

$$P_N(J) = \sum_{R=1}^R \overline{P}_N'(R) \times \text{走行台キロ}(R) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$P_L(J) = \overline{P}_L'(J) \times \text{人口}(J) \quad \dots\dots\dots (6)$$

注1) 本モデルでは、自動車および人口からの汚染発生によるフィード・バックは考慮しておらず、生産活動により発生する汚染によるフィード・バックのみを定式化してある。生産活動へのフィード・バックを考慮する際には必要となる汚染物質排出量に関する基準値(制限値)は、本モデルでは昭和何年度の排出量というようにして与え、それ以上の汚染物質の排出は許されないとした。フィード・バックのかり方に関する代替シナリオは、本文中に記したもののみをモデルに組み込んである。参考文献(6)参照

注2) 技術革新や公害投資による汚染物質の処理能力の増大、産業構造・生活様式の変化等による汚染物質排出量の変化は、原単位の変化として考慮することになる。

⑩ 水需給サブモデル

水需要量や淡水補給量、供給可能量等は次のような基本式で計算される。

・水需要量

ア) 工業用水

用水量(I, J) = $a \times \text{就業者数}(I, J)^{\alpha} \times \text{工業出荷額}$

$$(I, J)^{\beta} \times \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{or} = b_0 + b_1 \times \text{就業者数}(I, J) + b_2$$

$$\times \text{工業出荷額} + \dots\dots\dots (6')$$

回収率(I, J) = 回収率(I, J)₋₁

$$+ d \text{ 回収率}(I, J) \quad \dots\dots\dots (6)$$

d 回収率(I, J) = $c \times (\text{出荷額}(I, J)$

$$\div \text{出荷額}(I, J) - 1 - 1)^d \quad \dots\dots\dots (6)$$

淡水補給量(I, J) = 用水量(I, J)

$$\times [1 - \text{回収率}(I, J)] \quad \dots\dots\dots (6)$$

イ) 家庭用水

給水量(J) = 原単位(J) $\times$ 人口(J)

$$\dots\dots\dots (7)$$

原単位(J) = $a \times (\text{県民所得}(J) / \text{人口}(J))^{\alpha}$

$$\times \text{上水道普及率}(J)^{\beta} \times \dots\dots\dots (7)$$

ウ) 業務用水

給水量(J) = $a \times \text{第3次産業純生産}^{\alpha}$

$$\times \dots\dots\dots (7)$$

エ) 農業用水

農業用水量は建設省河川局編「広域

利水調査第二次報告書」等を参考にし

て、時系列の変化を推定した。

注1) $a, \alpha, \beta, b_0, b_1, b_2, c, d$ は定数である。

注2) 家庭・業務用水の回収利用量は相対的に小さいと考えて省略した。

注3) 以上で定式化した水需要量は、いわゆる「意識量」ではなく、使用実数をもとにして定量化されたものである。

注4) 回帰分析結果については参考文献(6)を参照されたい。

・水供給可能量

$$\text{供給可能量}(J) = \text{供給可能量}(J)_{-1} + \text{新規開発量} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{新規開発量}(J) = \text{水資源関連投資額}(J)$$

$$\div \text{開発コスト}(J) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{開発コスト}(J) = a(J) \times \left[\frac{\text{供給可能量}(J)}{\text{供給可能量}(J)_{T=40}} \right]^{b(J)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

(7)式に関する回帰分析の結果を表-3に示す。

表-3 (76)式の回帰分析結果

地域	回帰結果	a (J)	b (J) (t-value)	R	MAPE
北海道		0.00029685	3.1811 (7.44)	0.94216	2.67
東北		0.00048608	3.7805 (8.50)	0.98994	0.14
関東		0.00263810	1.4544 (2.60)	0.70118	2.89
東海		0.00087709	2.6935 (6.36)	0.92340	1.82
北陸		0.00014381	3.8358 (4.69)	0.87096	6.45
近畿		0.00175690	1.6039 (3.37)	0.78660	2.46
中国		0.00054529	3.2455 (7.83)	0.94738	2.51
四国		0.00019740	4.1377 (10.20)	0.96893	3.36
九州		0.00074472	3.2084 (4.20)	0.98317	1.44

水需給サブモデルによるシミュレーション結果の1例を図-1に示す。

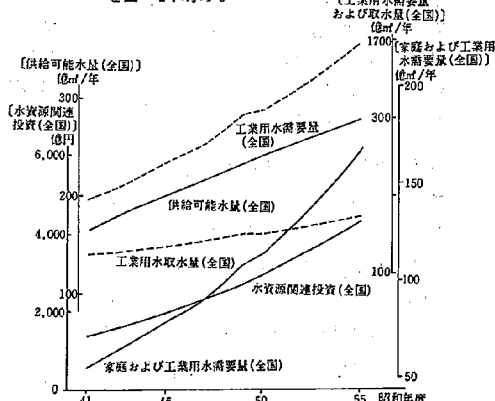


図-1 水需給サブモデルによるシミュレーション結果の例

3 データ出典一覧表

ケース・スタディⅡで使用したデータの出典を表-4～表-10に示す。

表-4 Data 出典一覧表 (1)生産所得関係

data	資料(出典)	deflator	備 考
純 生 産	経企庁国民所得部	卸売物価指数、消費 者物価指数(財別)	
租 付 加 価 値	#	#	I/O表とNRPFの 配布(一部)
生産額(=総支出)	#	#	#
最終需要 R 財	—	—	I/O表とF.D項目より I=1,2
最終需要 N 財	—	—	I/O表とF.D項目より I=3~10
輸 出	外国貿易概況 「数量指数」	—	I=7, 8, 9
輸 入	#	—	I=4, 5, 7, 9
県民所得(純生産計)	—	—	RP(I, J, T)より作成
配 分 係 数(I/O)	—	—	RPより作成 I=3~10
生産圧力(生産額ベース)	FDR, FDN I/O表より(40)	—	
生産圧力(純生産ベース)	# (40)	—	
生 産 能 力	生産能力関数より	—	I=1~8
生産圧力(生産額ベース)	FDR, FDN RAS I/O表より	—	
生産圧力(純生産ベース)	#	—	

表-5 Data 出典一覧表 (2)支出関係

data	資料(出典)	deflator	備 考
総支出デフレーター-前年比	国民所得統計年報	—	
政府消費支出	県民所得統計	—	
民間消費支出	#	—	
在庫投資	#	—	
家計外消費支出	国民所得統計年報	総支出デフレーター	全国値をRPで配分

表-6 Data 出典一覧表 (3)資本形成・資本ストック関係

data	資料(出典)	deflator	備 考
政府総固定資本形成	県民所得統計	総固定資本形成 デフレーター	
道 路 投 資	自治省行政 投資実績報告	#	
生活基盤投資	#	#	
道路資本ストック	三菱総研試算値	—	
生活基盤ストック	#	—	
民間総固定資本形成	県民所得統計	総固定資本形成 デフレーター	RINVT= RINVH+RINVE
民間住宅投資	#	#	
民間設備投資	#	#	
#	三菱総研試算値	—	I=(1+2), 3, 5, 6, 7,
民間住宅資本ストック	#	—	
民間資本ストック	#	—	

土木研究所報告

表-7 Data出典一覧表 (4)人口・面積・労働時間関係

data	資料(出典)	deflator	備考
総人口	住民基本台帳	—	
就業者	国勢調査(一部推定)	—	I=10を除く
総面積	国勢調査 国土地理院	—	
可住地面積	#	—	
労働時間	勤労統計調査	—	I=1, 3, 5, 6, 7, 8,

表-8 Data出典一覧表 (5)道路関係

data	資料(出典)	deflator	備考
自動車(保有台数)	陸運統計要覧	—	(万台)
12時間(走行台キロ)	道路交通情勢調査	—	(万台・キロ)
12時間(容量台キロ)	道路統計要覧より	—	(万台・キロ)
混雑度	RTRA/RCAP	—	
アクセシビリティ	$ACC_j = Y_j / TIME_j$	—	
時間距離	建設省土木研究所 運輸	—	(h)形式別道 J1=J2は地域内
元1級国道(走行速度)	道路交通情報調査	—	(Km/h)
汚染原単位	環境白書	—	I:府 J:地域 K:項目
汚染量	—	—	#
環境容量	—	—	#
自動車による排出量	—	—	J:地域 K:項目
自動車排出原単位	—	—	J:地域 K:項目

表-9 Data出典一覧表 (6)水資源関係

data	地区 レベル	資料(出典)	deflatorの 指定(出典)	備考
1. 上水道年間給水量 用途別、水源別	L	上水道統計		L:都道府県 レベル
2. 上水道給水人口	L	#		
3. 県民所得第3次産業統計	L	地域経済要覧	21 22	
4. 人口	C	住民基本台帳人口 自治省 行政局		C:市町村 レベル
5. DID 面積・人口	L	国勢調査報告		
6. 製造業用水量・回収 水量・産業中分類別	L	工業統計表 (用地用水欄)		
7. 製造業・促進費 産業中分類別	L	#		
8. 製造業・品出 産業中分類別	L	#	21	R:本モデルの 対象レベル
9. 水系別利用率—ダム容量	(R)	広域利水調査 第一次報告		
10. 供給可能量—開水単 位(農業用水を除く)	R	広域利水 第二次報告		
11. 農業用水需給見直し	R	広域利水 第三次報告		
12. 上水道事業投資額	L	行政投資実績報告		
13. 工業用水道事業投資額	L	#		
14. 水資源開発公団投資額	L	#	20	
15. 河川総合開発事業投資額	L	#	20	
16. 特定多目的ダム事業投資額	L	#	20	
17. 土地改良事業投資額	L	#		
18. ダム別、水用差別事業費 (計画)		日本の多目的ダム		
19. 製造業固定資産形成 産業中分類別	L	工業統計表(産業欄)	21	
20. 建設省所管土木事業費 デフレーター(第幾期)	N	建設統計要覧 (45~ annual)		N:全国レベル
21. 卸売物価指数	N	物価指数年報 日本銀行統計局		
22. 消費物価指数 (県庁所在地市)		地域経済要覧 (消費物価指数年報)		

表-10 Data 出典一覧表 (7)環境関係

data	資料(出典)	deflator	備考
産業活動による位置	環境白書	—	I:財 J:地域 K:項目
産業活動による量	—	—	#
環境容量	—	—	#
自動車による排出量	—	—	J:地域 K:項目
自動車排出原単位	—	—	J:地域 K:項目
人間生活による排出量 (1人当りの排出原単位)	瀬戸内海地域の汚染負荷解析(中国地方経済連合会)	—	J:地域 K:項目

4 参考文献の補足(地域モデルの分類)

(a) モデルの分類方法

地域モデルを、それが取り扱っている地域の大きさとその内部の地区(地域)分割に着目して、表-11のように分類する。

(b) 参考文献一覧表

分類結果を表-12に示す。

表-11 モデルの分類方法

地域分割 対象地域の大きさ	1 地域	多 地 域
全 国	① 全国モデル	② 全国地域モデル
地方ブロック 大都市圏(複数県)	③ 地方ブロック モデル	④ 地方ブロック 地域モデル
都 府 県 都市圏(複数市町村)	⑤ 都府県ブロック モデル	⑥ 都府県ブロック 地域モデル
都 市(市町村)	⑦ 都市ブロック モデル	⑧ 都市ブロック 地域モデル

注) 名称は分類を行なうための便宜上のものである(定義)。

表-12 地域モデルの分類

(モデルの種類)	(モデル名)	(文・献名)	(著者)	(発行年月)	(手法)
① 全国モデル	1. 経済社会基本計画の計量経済モデル 中期マクロ・モデル(1973) 産業連関モデル 2. COSMO(総合システム・モデル) 3. 日経マクロ・モデル 4. その他	計量委員会第4次報告 PROJECT COSMO(案)	経済審議会計量委員会 経済企画庁総合計画部	1973. 7 1973.11	計量 計量 計量
② 全国地域モデル	5. 全国連関計量モデル(9ブロック) 6. 天野モデル 7. SPAMETRIモデル(9ブロック) 8. その他	地域分散政策とその効果 地域連関計量モデルによる 地域構造変化の予測 道路投資の規模地域配分 モデル分析	三菱総合研究所 経済企画庁 天野光三, 他 建設省道路局	1972.12 1974. 3 1968. 8 1975. 3 1976. 3	計量 計量 計量
③ 地方ブロック モデル	9. 大都市交通システム・ダイナミック・モデル (東京, 神奈川, 埼玉, 千葉) 10. その他		中村英夫, 他		SD
④ 地方ブロック 地域モデル	11. 本四モデル パイロットモデル, マスターモデル (近畿, 中国, 四国の17地域(府県)) 12. 南関東モデル(東京, 神奈川, 埼玉, 千葉, 茨城—18地区) 13. 東京モデル (東京50km圏—15地区) 14. 大都市圏土地利用交通モデル (関東地方—都県一県(11地区)) 15. 商圏道路モデル(仮称, 未公開) (関東地方—7地域) 16. 中部圏計量モデル(中部圏—9県) 17. その他	本州四国連絡橋が地域経済に及ぼす影響の測定に 関する研究 地域経済計量モデル 都市計画74 今後の宅地政策の基本方 針について 大都市圏土地利用交通モ デルの開発 東京湾横断道路建設に伴 う社会波及効果分析 土地利用計画調査報告書	国際基督教大学 建設省道路局 伊藤滋, 他 住宅地地帯議会議 建設省計画局 建設省関東地建 建設省関東地建 社会開発総合研究所	1970. 3 1970. 6 1973. 3 1976. 1 1976. 3 1973.10 1974. 3 1974. 3	計量 計量 SD 計量 SD 計量
⑤ 都市県ブロック モデル	18. 大阪府地域計量モデル (大阪府) 19. 茨城県福祉経済モデル (茨城県) 20. 香川県社会経済計量モデル 21. 兵庫ダイナミック・モデル (兵庫県, 臨海部) 22. 埼玉ダイナミック・モデル(埼玉県) 23. むつ小川原SDモデル 24. その他	大阪府地域計量モデルに 関する調査研究 同 第2部 茨城県経済社会の福祉経 済モデルによる長期展望 瀬戸大橋架橋と香川県総 合交通体系調査 都市計画68 オペレーション・リサーチ オペレーション・リサーチ むつ小川原地域大規模開 発計画調査	関西情報センター センチュリー・リ サーチ・センター 香川県総合交通体 系調査委員会・環 境開発センター 伊藤滋, 他 松崎功保 金子昇一 むつ小川原総合開 発センター	1972. 3 1972. 8 1974. 3 1971. 3 1971.12 1976. 3 1976. 3 1974. 3	計量 計量 計量 SD SD SD
⑥ 都市県ブロック 地域モデル	25. 都市システム・モデル (広島市と周辺19町村—2地区) 26. 都市政策効果の分析モデル (広島市と周辺11町村—2地区) 27. その他	大規模地方中核都市のイ ンパクト分析調査 都市計画81	建設省都市局 日興リサーチ・センター 斉藤達三, 他	1974. 3 1974.12	SD SD
⑦ 都市ブロック モデル	28. 地域開発計量モデル (秋田市, 能代市, 鹿島3町) (諏訪市, 坂出市, 荏田市) 29. アーベン・エコ・ユニット・シミュ レーション・モデル (東北のY市, F市, S市) 30. 地方中核都市モデル (真日本のある都市) 31. 土地利用ダイナミック・モデル(京都市) 32. 都市開発モデル(東久留米市) 33. 市町村経済モデル	地域開発事後分析 地方中核都市のビジョン FUJITSU, Vol.26, 44 bit, Vol.1.5, 412 高濃道路インパクトの事 前評価手法の開発(経済 環境を主として)	経済研究所 機械振興協会新機 械システムセンター (三菱総合研究所) 堀秀樹 伊藤哲雄, 他 日本道路公団 三菱総合研究所	1976. 3 1973. 3 1975 1976. 2	計量 SD 計量 SD SD 計量

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

駒 田 敬 一 *
矢 作 枢 **
岡 原 美 知 夫 ***

Studies on Characteristics and Design Method of Assembled Steel Pile Foundation

by Keiichi Komada
Kaname Yahagi
Michio Okahara

Synopsis:

The assembled steel pile foundation is a new type of foundation which has been developed recently. Whereas, the number of assembled steel pipe foundations constructed has increased due to remarkable advantages in construction works and it may be identified as the fourth type of foundation which comes after a spread foundation, a pile foundation and a caisson foundation.

Herein, structural characteristics of this foundation were investigated through in-situ tests, model tests and three dimensional analysis, and more-over some important properties in designing, as well as stresses, displacements and ultimate capacities, are shown by graphs for the purpose of estimating them quantitatively. Furthermore, important factors to be taken into consideration in equations for design calculation were selected through the above-mentioned results and the rational design calculation method with these factors was established. Interaction curves between pile foundation and assembled steel pile foundation were made for both its application for practical designs and the evaluation of its characteristics from the view point of the pile foundation. These curves can practically be used for modifying values to be calculated as pile foundation.

On the other hand, some specific parts of this foundation, as well as connection points between top plate and steel piles or design of top plate itself, were also studied through model tests and theoretical analyses.

Key words (Assembled steel pile foundation, steel pile, joint, top plate, well, structural characteristics, spring constant of ground, interaction curve)

* 本州四国連絡橋公団工務第一課長(元基礎研究室長)

** 首都高速道路公団工務部設計技術課々長補佐(前基礎研究室長)

*** 基礎研究室研究員

要 旨

矢板式基礎は開発されてまだ10余年の新しい基礎であるが、施工においてとくにすぐれた面を持つので最近その施工実績をのばし、直接基礎、ケーソンに次ぐ第4の基礎として注目されている。

ここでは、矢板式基礎の構造的な特性を現場実験、模型実験および三次元解析を通じて分析し、設計上重要な諸量となる応力、変位、耐力などの定量的評価を得ることができるようグラフなどを用いて表わした。さらに、これらの分析結果を利用して、設計上考慮すべき因子を抽出して定式化し、合理的な設計計算式を作成した。また、この式は従来の設計計算式に比べてかなり複雑となり、実用的には適用しにくい面があるため、くい基礎から矢板式基礎の特性を判断するために、くい基礎と矢板式基礎のインターアクションカーブを作成した。くい基礎としての計算値をこのグラフを用いて補正することによって実用的な設計への応用は可能である。

矢板式基礎の部分的な構造についても着目し、頂版の設計、頂版と矢板の結合部等についても、模型実験、解析等を通じて検討を加えた。

キーワード (矢板式基礎、矢板、継手、頂版、井筒、構造特性、地盤バネ定数、インターアクションカーブ)

目 次

まえがき	2	計算条件	34
1. 矢板式基礎に関する一般的事項	3	(4) くい基礎と矢板式基礎との インターアクションカーブ	37
(1) 矢板式基礎のおいたちと特徴	3	7. 結 論	43
(2) 矢板の種類	4	あとがき	44
(3) 構造形式	4		
2. 矢板間の継手のせん断特性	5	まえがき	
(1) 実大矢板による実験	5	近年、構造物基礎の技術は著しく大型化し、多様化し てきた。これは、従来では考えられないような個所に橋 梁等が相次いで建設されるようになったために基礎の技 術の進歩が一段と促進されたためである。	
(2) 模型実験	5	わが国では地形や地質が複雑にいきなり、沖積世地盤 が発達し、かつ地震多発国であるため、基礎の設計、施 工には多くのむずかしい問題を含んでいる。これらの難 点を解決するために開発された基礎の1つが矢板式基礎 である。	
(3) 解析による継手のせん断特性の分析	6	基礎研究室では、この基礎の高い将来性と現場技術者の 強い要請から、昭和48年度から4ヶ年余にわたって、構造特性、 施工性及びその設計法について調査、研究を実施した。	
(4) 継手のせん断強度の設計への適用	8	矢板式基礎は一般に、くい基礎とケーソン基礎の中間 的な基礎であるといわれる。その構造特性を実験あ るいは解析で追跡すると、そういう一面が出ているが、 矢板間の継手、頂版構造等によって従来の基礎に現われ ない挙動も現われている。例えば、比較的井筒径の大き い矢板式基礎では個々の矢板の剛性の不足から、井筒壁 が全体的につぶれるような挙動が生じる。これを防ぐた めには、適当な隔壁を設けるなり、また個々の矢板に中 詰コンクリートを打設して矢板自身の剛性を高めるよう な措置を講じる必要がある。	
3. 頂版と矢板の結合	8		
(1) 頂版構造	8		
(2) 頂版の平面形状	8		
(3) 頂版と矢板の結合方法	9		
(4) 頂版結合部の模型実験(1)	9		
(5) 頂版結合部の模型実験(2)	10		
(6) 頂版と矢板の結合条件の考え方	11		
4. 構造特性	11		
(1) 解析による構造特性の分析	11		
(2) 模型実験による構造特性の検討	18		
5. 矢板式基礎の設計計算法の検討	21		
(1) 矢板式基礎の設計計算法の位置づけ	21		
(2) 基本方針	22		
(3) 新しい設計計算法	23		
(4) 地盤バネ定数	28		
(5) 各種計算法による計算値と実測値との比較	30		
6. くい基礎計算法による設計手法の検討	31		
(1) 概 説	31		
(2) くい基礎の計算法との対応	33		
(3) インターアクションカーブ作成のための			

衆知のように、現在の下部構造の設計体系においては、
 くい基礎とケーソンとは別々の基準で設計されるようになって
 いる。矢板式基礎の設計を行なうとき、その形状によつては
 くい基礎とケーソンの中間的存在となる。その場合に各々の
 設計法を適用すると、ときとして計算値が大偏に食い違ふ
 ことがある。この矛盾の生じる主な原因として、計算仮定
 や計算方法の違いも考えられるが、最も大きなものは地盤
 バネ定数の算定手法の違いである。逆にいえば、たとえ、
 くい基礎、矢板式基礎、ケーソンの計算法を統一しても、
 地盤バネ定数が統一されない限り、各基礎間に矛盾が生
 じる。

矢板式基礎の構造特性、設計法の研究を行なう過程にお
 いても、このような設計法の体系化を最終目的に設定した。
 本論文で示す計算法は、現行のくい基礎計算法と矛盾せず、
 またケーソンにも適用可能である。そのことから、本計算
 法はより広い範囲に適用できる新しい設計計算法として位
 置づけることができよう。同時に、仮締切兼用工法などの
 特色を有する本基礎において、合理的な施工法の確立も非
 常に重要な課題である。

本論文の内容、項目を簡単に以下に紹介する。

- (I) 矢板式基礎の特徴、発展過程、形式等について詳しくとりあげた。
- (II) 矢板式基礎の設計において、重要な設計量となる継手のせん断剛性、強度を実大矢板による実験、模型実験から求めた。また解析結果から継手に及ぼす影響の大きい因子を分析した。
- (III) 頂板と矢板の結合部は設計上ウィークポイントになるが、模型実験によつてその力学的挙動を検討した。
- (IV) 矢板式基礎の設計法を検討するために、三次元解析及び実験によつてその構造特性を詳しく検討し、その結果をグラフで表わした。
- (V) (IV) の結果を用いて、矢板式基礎の設計計算式を作成し、その基本仮定、式の誘導について詳しく述べた。また、設計に用いるための地盤定数の考え方、適用法にもふれた。
- (VI) (V) で示した計算式はかなり複雑となるので、実用設計のためにくい基礎と矢板式基礎とのインターアクションカーブを作成した。その中で基本的設計諸量(曲げモーメント、軸力、水平変位)を、継手のせん断剛性、井筒径、隔壁の有無、根入れ長、地盤等の変化に応じて求めた。

1. 矢板式基礎に関する一般的事項

(I) 矢板式基礎のたたきと特徴

矢板式基礎が構造物の基礎として本格的に使用された最初のものは、川崎製鉄水島製鉄所の溶鉱炉基礎であろう。多くの模型実験、実物実験などの研究を経て、矢板式基礎が橋梁基礎に使用された最初のものは、石狩河口橋(北海道開発局、昭和44年)、小見川橋(千葉県、昭和45年)、千本松橋(大坂市、昭和45年)などである。最近の施工例として水郷大橋(関東地建、昭和52年)、計画中のものとして、安治川大橋(阪神高速道路公団、昭和52年着工予定)がある。安治川大橋に使用される予定の矢板式基礎の規模は非常に大きく、基礎径が30mを超えるものである。

矢板式基礎に関する開発研究は、溶鉱炉基礎がその適用の第1号であることから知られるように、幾つかの製鉄メーカーの手によって行なわれてきた。溶鉱炉基礎のほか、ドルフィン、スケールピットなど製鉄所内の土木工事に多く用いられた。この段階でいくつかの開発研究が行なわれ、橋梁基礎のための基礎的技術が培われた。

矢板式基礎は、ケーソンに近い剛性を有すると考えられ、くい基礎とほとんど同じ施工準備、機械により施工することができ、省力化、急速施工に適するなど、多くの利点をもつ。そのことから、昭和44年度に建設省技術研究補助金による「矢板式基礎の施工性と構造特性に関する研究」で(1)矢板の打ち込み精度、(2)土中における連水効果、(3)矢板とてん充コンクリートの一体性、(4)振動特性の4項目の研究が行なわれた。また、昭和48年度から4ヶ年計画で実施された建設省の総合技術開発プロジェクトの「新耐震設計法の開発」に関する研究の一環として、国土開発技術研究センターに耐震技術開発研究委員会・基礎工部会(鈴木俊男部会長)を設け、矢板式基礎の構造特性と施工性に関する研究を行なった。その成果は「耐震技術に関する研究開発総合報告書」(昭和52年3月)⁽¹⁾の中に収録されている。

矢板式基礎の最大の特徴の一つは、仮締切兼用工法をとり得ることであろう。今までの施工例を見ると、大半がこの形式である。水中でくい基礎を施工する場合、仮締切工が必要であるが、水深が大きいと仮締切に多大の工費を要し、工期も長くなる。さらに仮締切の力学的安定性はまだ十分に解明されていないという実状がある。一方、矢板式基礎工法では図-1.1のとおり、本体と同じ構造部材で締切るので、安全性はきわめて高い。H型鋼の腹起こしと鋼管矢板の間隙はモルタルで固め支保工と仮締切部材を一体化することによって安全性をさらに高めることができる。矢板式基礎を仮締切兼用工法として有効利用せしめるためには、継手の止水性、鋼管矢板の水中での切断技術を一層確実で、経済的なものとする必要がある。

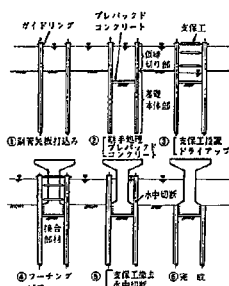


図-1.1 仮締切兼用矢板式基礎工法の施工順序

〔2〕矢板の種類

矢板式基礎に使用する矢板材料には、その構造特性に十分耐えうる強度、材質、断面性能を備えた鋼材が用いられる。使用される矢板としては鋼管矢板（図-1.2）、H形鋼矢板（図-1.3）がある。

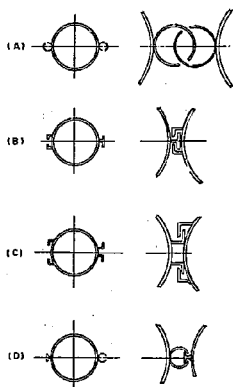


図-1.2 鋼管矢板

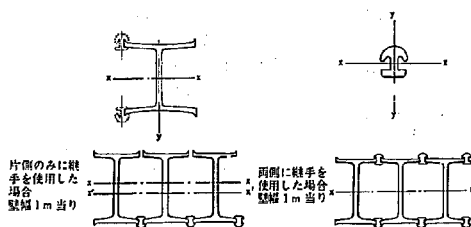


図-1.3 H形鋼矢板

〔3〕構造形式

矢板式基礎をその形状から分類すると、同一長さの矢板を支持層まで打ち込んで形成する井筒型と矢板の一部を支持層まで打ち込んだ脚付型となる。また、その断面形状、基数、継手の処理方法などにも数種の方法があり、まとめると表-1.1のようになる。

表-1.1 矢板式基礎の形式

基本形	断面形状	基数	継手処理
井筒型	円形	単数	モルタル
脚付型	楕円形	複数	注入
	矩形		溶接
	その他		無処理

このほかに、矢板自体の内部を補強するか否か、地表面よりの突出長の有無などでも分類できる。

前述したように、井筒型は、すべての矢板を支持層まで打ち込み、頭部をフーチングにより剛結したものである。一方、支持層が比較的深い場所などでは、水平力に比較して鉛直支持力の方に余裕のあることがある。このような場合には、矢板の一部を支持層まで到達させ、他は中間で止める構造、すなわち脚付型にした方が鋼材量が少なくてすみ、経済的になる。

矢板式基礎の断面形状は、図-1.4に示すような円形、小判形、矩形のみならず、その他の断面形状も可能である。ケーソン工法では断面形状の違いが、施工速度に影響を与えるが、本工法によれば従来のくい打ち工事とほとんど変わらないため、形状の違いによる施工速度への影響は少ない。

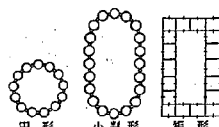
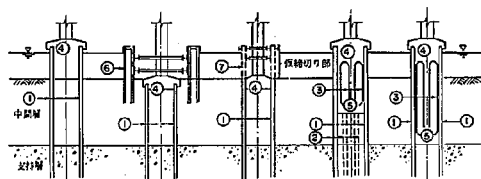


図-1.4 矢板式基礎の断面形状

矢板式基礎の種類は、頭部、締切等の違いにより、図-1.5に示すように、大略5種類に分けられる。(1)は立ち上がり式と呼ばれ、矢板が氷面上にまで立ち上がり、頂版が氷面上にある。(2)は締切り方式と呼ばれ、躯体、頂版の建設のために、別個に締切り施設を設けるものである。(3)は仮締切り兼用方式と呼ばれ、本管の矢板が氷面上にまで立ち上がり、これによって締切りを行ない、躯体、頂版を建設したあと、仮締切り部の矢板を水中切断する。(4)は半剛体方式と呼ばれ、井筒内部を一部掘削してコンクリートを打設したものである。(5)は剛体方式と呼ばれ、井筒内部を支持層まで掘削して、コンクリート

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

打設したものである。(4)と(5)の形式は、橋梁基礎にはまだ採用されていない。



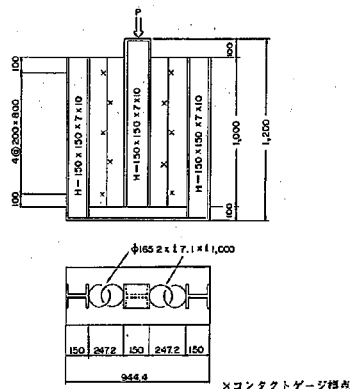
①立上り方式 ②棒切り方式 ③取捨切り兼用方式 ④半剛体方式 ⑤剛体方式
①鋼管矢板 ②鋼管グイ(必要により) ③内部鉄筋コンクリート ④フーチング ⑤底板
⑥2重棒切り ⑦取捨切り

図-1.5 矢板式基礎の種類

2. 矢板間の継手のせん断特性

(1) 実大矢板による実験

一般的にいって継手のせん断剛性を考慮すると設計は有利になる。井筒径が大きくなるにつれ、継手のせん断抵抗を大きくし、かつ継手を少なくしていくことが全体の耐力を向上させる。現在用いられている継手はほとんど同一規格のものであり、井筒径の規模に関係なく使用されている。実際、継手はどの程度のせん断剛性をもち、かつせん断耐力があるかを知るために実大矢板を使った実験を実施した。



注) モルタル

強度: $\sigma 20 \times 180 \text{ kg/cm}^2$

フロー値: 20 sec

水セメント比: 4.9%

図-2.1 継手の押し抜き試験

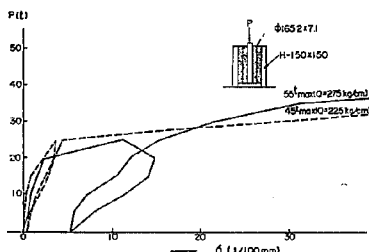


図-2.2 直接せん断試験P- δ 曲線

図-2.1 に示すように3本の矢板を組み合わせ、継手部にモルタルをてん充し、中央の矢板に押し抜き荷重を加え継手部のせん断剛性とせん断耐力を求める。試験の結果は、図-2.2 に示すように載荷荷重Pと継手のずれ量 δ の関係で表わす。載荷荷重が25 t (せん断応力度 2.5 kg/cm^2) 位まではほぼ直線的に増加し、約50 t (せん断応力度 5.0 kg/cm^2) で破壊に至る。ここで用いた継手は、一般によく用いられているもの(図-1.2の(A))で、この試験結果から継手のせん断剛性 G_j 、せん断耐力 q_u 、最大せん断応力度 τ_{max} を推定すると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} G_j &\approx 120,000 \text{ t/m}^2 \\ q_u &\approx 20 \sim 25 \text{ t/m} \\ \tau_{max} &\approx 4 \sim 5 \text{ kg/cm} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

これらの値は、継手の大きさ、形状、継手処理等によって変わるものである。設計に使用する場合、現場の施工性と安全性を考慮して、(2.1)の値をさらに低減して用いる必要があろう。

(2) 模型実験

図-2.3 に示すような試験体を用いて比較的規模の小さい継手の押し抜き試験が阪神高速道路公団で実施された。供試体のスケールを除いて、(1)の場合と全く同じ条件である。試験の結果として、図-2.4 に軸方向圧縮ひずみ分布を示した。この結果を見ると荷重に対してほぼ均等に継手にせん断力が分布していることがわかる。図-2.5 に荷重-ずれ線図を示した。この試験結果から継手のせん断剛性 G_j 、せん断耐力 q_u 、最大せん断応力度 τ_{max} を求めると以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} G_j &\approx 8,100 \text{ t/m}^2 \\ q_u &\approx 0.69 \sim 1.22 \text{ t/m} \\ \tau_{max} &\approx 2.75 \sim 4.88 \text{ kg/cm} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

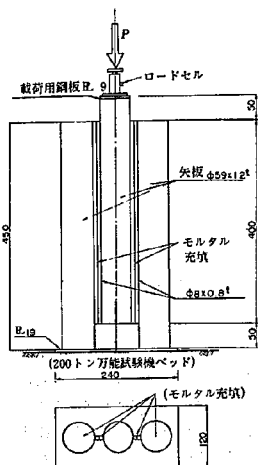


図-2.3 継手の押し抜き試験

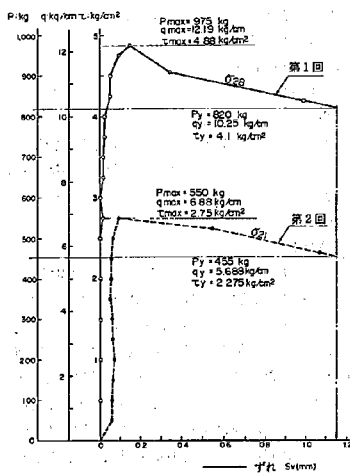


図-2.5 荷重～ずれ線図

〔3〕解析による継手のせん断特性の分析

継手のせん断流に及ぼす各種パラメーターの影響をみるために要因分析を行なった。基礎研究室で開発した三次元有限要素解析プログラムを用い、モデルとして石狩大橋（北海道開発局）を使用した。図-2.6 にその計算モデルを示す。各パラメーターによる継手のせん断流への影響度は表-2.2 に示すとおりである。表-2.2 にお

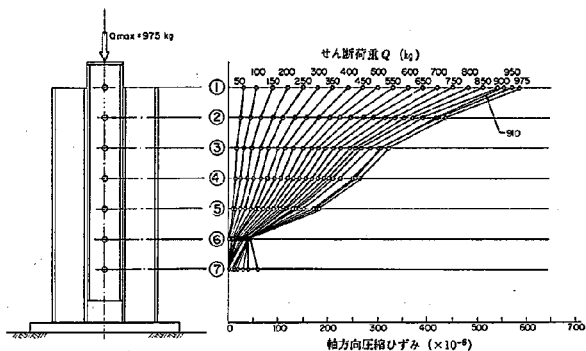


図-2.4 軸方向圧縮ひずみ分布

いて最も影響の大きいパラメーターは r_s であり、次は r_a 、 r_l である。また地盤条件によるパラメーター r_{11} 、 r_s 、 r_l についてもかなり影響が大きい。つまり地盤による矢板の拘束が大きければ、それだけ継手部のせん断流は小さくなる。地盤条件による影響を考えないとすると支配的パラメーターとして r_s 、 r_l 、 r_a となる。根入れ長のパラメーターである r_l については、かなり影響がある場合（矢板式基礎を有限長とみなす）とない場合（矢板式基礎を無限長とみなす）に分けられる。一応その影響を無視した場合をあつかうと、継手のせん断流と矢板の肉厚のパラメーター r_s 、 r_a を取り上げれば十分である。解析結果から継手の最大せん断流 q とパラメーター r_s の関係を図-2.7 に、継手の最大せん断流 q とパラメーター r_a の関係を図-2.8 に示した。これらのグラフから継手の最大せん断流 q と r_s 、 r_a の関係は次のように求める

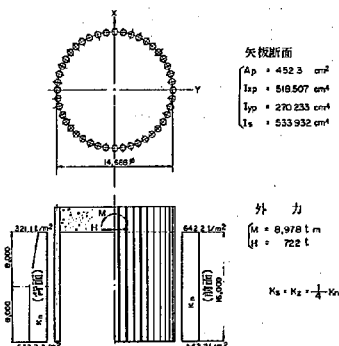
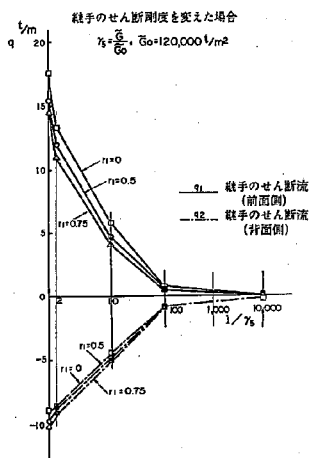


図-2.6 計算モデル（石狩大橋）

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

表-2.2 各パラメーターの q (継手のせん断流) に及ぼす影響

q に及ぼす影響大	q に及ぼす影響中	q に及ぼす影響小
$\circ \gamma_s = \frac{\tilde{G}}{\tilde{G}_0}, \tilde{G}_0 = 120000 \text{ t/m}^2$ 継手のせん断剛度を変えた場合	$\gamma_s = \frac{k_{s1}}{k_{s2}}$ k_{s1} : 前面の地盤バネ k_{s2} : 背面の地盤バネ 前面の地盤バネと背面の地盤バネの比を変えた場合 $\circ \gamma_s = \frac{(k_n)_1}{(k_n)_2}, N = 25$ 側面の地盤バネを変えた場合 $\circ \gamma_s = \frac{K_v}{(K_v) N = 50}$ 底面の地盤バネを変えた場合 $\circ \gamma_s = \frac{l}{l_0}, l_0 = 16 \text{ m}$ 矢板の根入れ長を変えた場合 $\circ \gamma_s = \frac{t}{t_0}, t_0 = 14 \text{ mm}$ 矢板の板厚を変えた場合	$\circ \gamma_s = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \gamma_1 = 16 \text{ m}$ 背面地盤バネの変化する区間の長さを変えた場合 $\circ \gamma_s = \frac{E_s}{E_{s0}}, E_{s0} = 660.3$ 井筒周長線の伸張変形の剛度 E_s を変えた場合。

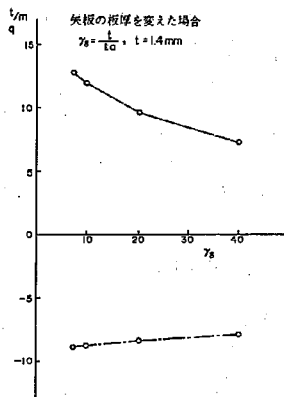
図-2.7 継手の最大せん断流 q とパラメータ γ_s の関係

$$q \approx 10 \log_{10} \gamma_s + 15 \quad \text{t/m}$$

ここに,

$$\gamma_s = \frac{G_2}{G_{20}}, \quad G_{20} = 60,000 \text{ t/m}^2, \quad 12,000 \leq G_2 \leq 60,000 \text{ t/m}^2$$

(2.3)

図-2.8 継手の最大せん断流 q とパラメータ γ_s の関係

$$q \approx -3.0 \gamma_s + 15.7 \quad \text{t/m}$$

ここに,

$$\gamma_s = \frac{t}{t_0}, \quad t_0 = 14 \text{ mm}, \quad 10.5 \leq t \leq 24 \text{ mm}$$

(2.4)

(4) 継手のせん断強度の設計への適用

一般に断面のせん断流分布は図-2.9 に示ようになる。(a)が任意横断面のせん断流分布を、(b)は横断面において最大せん断力の発生する点を縦断方向に示したものである。実際の設計において、せん断流分布の最大値が継手の許容せん断力を越えなければよい。図-2.2、図-2.5 でわかるように、たとえ井筒の継手がすべてでもせん断耐力はそれほど落ちないので、応力の再配分が行なわれ、構造体としては安全性を保つと考えられる。

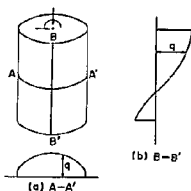


図-2.9 断面のせん断流分布

実際に用いられる継手 (図-1.2の(A))における、設計用のせん断剛性とせん断耐力は、(2.1)式に安全率を考慮して次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} G_J^* &= \frac{G_J}{10} \sim \frac{G_J}{2} = 12,000 \sim 60,000 \text{ t/m}^2 \\ q_u^* &= \frac{q_u}{a} = \frac{20}{a} \text{ t/m} \end{aligned} \right\} (2.5)$$

但し、 a : 安全率

設計計算において、基本的に満足しなければならない条件は、

$$q \leq q_u^* \quad (2.6)$$

q : 設計荷重による継手の最大せん断流である

3. 頂版と矢板の結合

(1) 頂版構造

矢板式基礎の頂版の結合方法は施工法によって次の2種類に分類される。

(1) 図-3.1 (a)は矢板が水面上に立ち上がった場合で頂版が水面上にある。図-3.1 (b)は頂版、橋脚を施工す

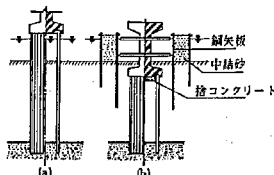


図-3.1 頂版構造 (群くい式)

るために締切りを別途に建設する場合である。これらのタイプの頂版構造は群ぐいの場合に準拠しており、その設計法も群ぐい方式をそのまま準用しても差し支えないと考えられる。

(2) 図-3.2 は仮締切兼用法の矢板式基礎の場合である。基礎本体と仮締切壁が一体となっており、頂版を井筒内部に施工する。井筒内の矢板壁面に接合部材をとりつけ、そのせん断抵抗力によって上部の荷重を井筒に伝達する結合方法である。この場合の頂版構造は、従来の基礎形式にない独特のものであるために説明しなければならない問題点が多い。

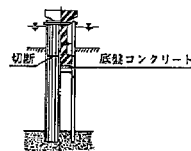


図-3.2 頂版構造 (せん断式)

(2) 頂版の平面形状

頂版の平面形状は、橋脚の断面形状との関連において次の組み合わせが考えられる。

- (1) 円形の橋脚と円形の井筒の組み合わせ (図-3.3)
- (2) 長方形の橋脚と円形の井筒の組み合わせ (図-3.4)

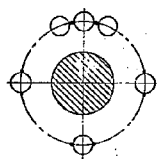


図-3.3 型式-1

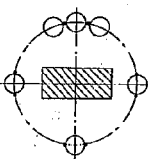


図-3.4 型式-2

- (3) 長方形の橋脚と長方形の井筒の組み合わせ (図-3.5)

- (4) 2本の柱脚をもつ橋脚と長方形の井筒の組み合わせ (図-3.6)

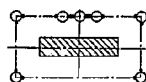


図-3.5 型式-3

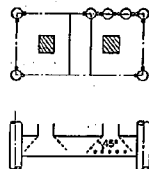


図-3.6 型式-4

- (5) 長方形の橋脚と小判形の井筒の組み合わせ (図-3.7)

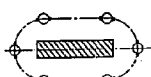


図-3.7 型式-5

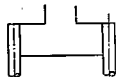


図-3.8 仮締切兼用タイプ

〔3〕頂版と矢板の結合方法

頂版と矢板の結合において、特に注意しなければならないのは、図-3.2 に示す仮締切兼用工法の場合である。図-3.8 で示すように頂版は井筒内部に施工される。上部工、橋脚の荷重を井筒内壁と頂版とのせん断抵抗により井筒に伝達するためには、井筒内壁面に頂版接合材、(図-3.9)を取り付ける必要がある。頂版接合材としては、常時、地震時の荷重に対する、リブプレート、支圧板、支圧板支持リブの外、水平荷重による肌離れ、あるいは施工時の残留応力に対する結合鉄筋を設ける (図-3.10、図-3.11)。頂版接合材の矢板壁面への取り付けは、井筒形成後の現場溶接による。

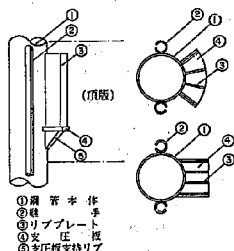


図-3.9 頂版部接合部の模式図

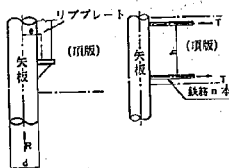


図-3.10

図-3.11

〔4〕頂版結合部の模型実験(1)

矢板式基礎の頂版の構造は施工法によって異なるが、最もよく用いられ、かつ特殊な構造となっている仮締切兼用工法の場合を取り上げる。

阪神公団において実施された実験は、図-3.12 に示す実物の約7分の1の縮尺のラーメン型模型体を用いて行なわれた。これに、水平、鉛直方向の荷重をして、頂版

内部および結合部の応力伝達状況等を調べた。鉛直荷重によるひずみ分布の例を示したのが図-3.13であり、水平荷重のそれは図-3.14に示す。

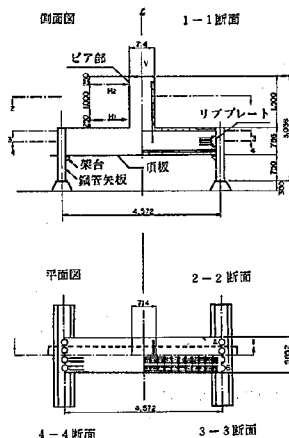


図-3.12 ラーメン型模型体

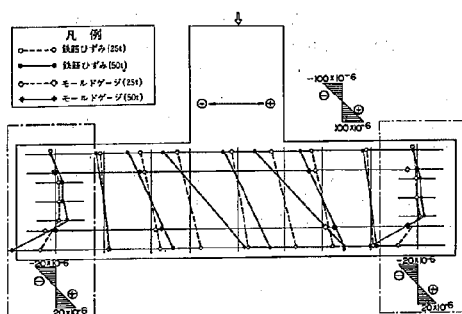


図-3.13 頂版内ひずみ分布形

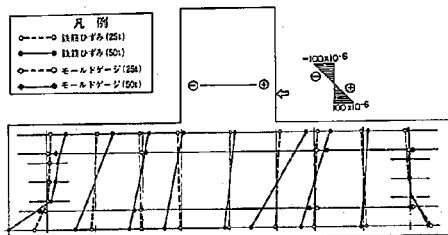


図-3.14 頂版内ひずみ分布形 (水平荷重)

この一連の実験結果から次のような結論が得られた。

- (i) 鉛直荷重の架台での分担率は約40%以下であり、他はリブプレートおよび鋼管矢板表面の付着力、鉄筋結合板への支圧などと考えられる。
- (ii) 水平荷重による、頂版と鋼管矢板との肌離れは顕著にあらわれなかった。
- (iii) リブプレートのヒゲ鉄筋には、引張力が作用し、

鋼管矢板と頂版との一体化に寄与していると思われる。

- (iv) 鋼管矢板と頂版との結合部は、荷重→変位曲線から、鋼管矢板の拘束力は小さく、頂版にとってはピン結合に近い状態と考えられる。この結果、頂版設計においては、鋼管矢板と頂版との結合部はピンとして頂版厚を算定することが望ましい。

表-3.1 供試体種類

	鉛直力の伝達方法		備 考
	せん断式	架台式	
A	600×150×2枚 付着面積3600cm ²	—	せん断プレートのみで全鉛直力を伝達させる。
B	—	300×150 支圧面積 450cm ²	架台のみで全鉛直力を伝達させる。
C	600×150×1枚 付着面積1800cm ²	150×150 支圧面積 225cm ²	せん断プレートと架台で鉛直力の50%づつを伝達させる。複合式

(5) 頂版結合部の模型実験(2)

本実験は鋼管杭協会において実施されたものであるが、鋼管矢板と頂版の結合方法を取り上げ、結合方式の違いによる耐力、応力分布などを検討したものである。

供試体は中央部に鋼管矢板(φ600mm, t=9mm)を有する高さ110cm, 幅90cm, スパン360cmの単純梁である。供試体の種類は、表-3.1に示すように、鋼管矢板から頂版への力の伝達を、(A)鋼管に溶接したせん断プレートの付着で全鉛直力をうけるもの、(B)架台を設けこれに作用する支圧で全鉛直力をうけるもの、(C)せん断プレートと架台で鉛直力の50%づつをうけるものの3種類である。

載荷は図-3.15に示すように、鋼管の上端部に一様な圧縮応力が作用するような集中載荷とした。

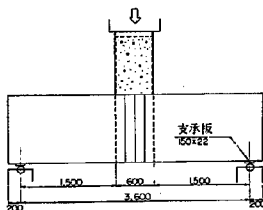


図-3.15 載荷方法

試験結果から以下に示すような事実が得られた。

(i) 頂版の応力性状について

図-3.16に鋼管近傍の引張主鉄筋の応力度を示す。

鋼管近傍の引張主鉄筋の応力度は、設計荷重(P=72t)時で500 kg/cm²程度、設計荷重の1.5倍(P=108

t)時で1200 kg/cm²程度となった。この程度の荷重では、結合方法の違いによる差は認められなかった。

(ii) 供試体中央のたわみについて

供試体中央のたわみを、図-3.17に示す。設計荷重時に0.9mm, 設計荷重×1.5時に1.4mm程度で、この荷重の範囲では各供試体の差違による違いはみられない。せん断ひびわれが発生し、アーチが構成されるようになると(荷重200t以上)、A>B>Cの順にたわみが大きい。

(iii) 引張線における鋼管とコンクリートの肌離れ

鋼管とコンクリートの肌離れ量は、曲げひびわれと異なって、載荷直後から荷重に比例して増大する。設計荷重時の最大値は0.05mm, 設計荷重の1.5倍時には0.25mm程度となり、最大曲げひびわれ幅よりも0.10mm程度大きい。荷重が200tを超えると、接合部の構造に関係なく肌離れが急激に増大した。

(iv) 終局耐力について

破壊は、いずれの供試体もせん断ひびわれの発生後に形成された引張主鉄筋の降伏により生じたものである。各供試体の終局耐力は、Aが280t、BとCが330tであった。

他の試験結果(土木研究所資料1175号)を見ると、せん断式(Aの場合)が最も耐力が小さく、せん断式と架台式の複合した方法(Cの場合)が最も大きな耐力を持っているという報告がある。

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

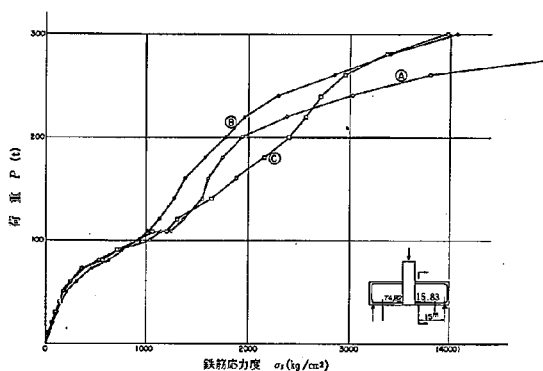


図-3.16 鋼管近傍の引張主鉄筋の応力度

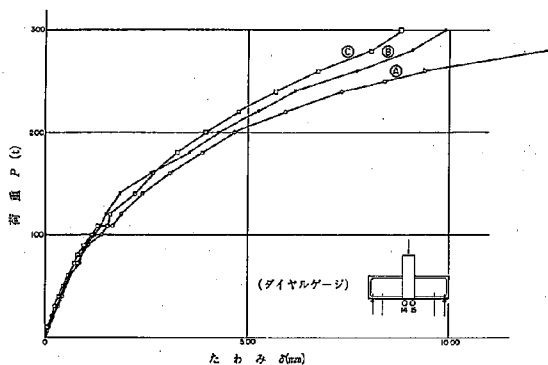


図-3.17 供試体中央のたわみ

〔6〕頂版と矢板の結合条件の考え方

橋梁基礎に用いられる矢板式基礎の頂版は比較の厚いものなので、設計上頂版を剛体として扱って問題ないと考えられる。頂版と矢板の結合部は剛結に近い状態に施工されるのが一般的であるが、特に仮橋切棄用矢板式基礎の場合には剛結条件が満足されにくい構造となることもある。設計計算を行なう場合、この結合部に対してなんらかの境界条件を入れる必要があるが、最も密着なやり方は結合部を弾性結合として行なう方法であろう。しかし、その場合の結合パネの算定に苦心のいるところである。最も簡明なやり方は矢板頭部の拘束応力を算定するときは剛結として扱い、矢板中間部の応力を算定するときはピン結合として扱うことである。この方式は古い基礎で行なわれることが多い。

また変位を計算する場合、継手のせん断剛性が十分に確

保されていると剛結とピン結合ではあまり値が違わないので（4の〔1〕の〔2〕参照）剛結として行なってもよいと思われる。

一般に剛結条件で計算すると、非常に大きな矢板頭部拘束応力が発生するので、仮想固定点を頂版下端より上方にとって計算し、頂版下端から仮想固定点までの範囲の応力を事実上無視してしまうことも考えられる。この方法は、簡明かつ合理的なやり方であり、その場合の仮想固定点は頂版厚の1/3～1/4位かまたは架台にとるのが妥当であると思われる。

4. 構造特性

〔1〕解析による構造特性の分析

矢板式基礎の構造特性を分析するため、数値計算用の三

次元解析プログラムを作成した。このプログラムは、円形の矢板式基礎の場合にのみ適用することができ、考慮している変形要素は次のとおりである。

- (I) 棒としての変形
- (II) 継手のずれ変形
- (III) 井筒の断面変形
- (IV) 井筒周長線の伸張変形

これらの変形は三次元的に取り扱っており、また変形関数はフーリエ級数によって仮定している。計算モデルは、図-2.6 に示す石狩大橋とした。

(1) 応力特性

頂版頭部に作用する外力（モーメント M_0 、水平力 H_0 ）に対して矢板に発生する応力は、継手のせん断剛性、地盤定数の変化、前面矢板の地盤反力係数と背面矢板の地盤反力係数の比、荷重の組み合わせ (M_0 、 H_0) などによって大きく影響を受ける。

図-4.1 は石狩大橋の地盤定数のモデル化をしたものである。図-4.2 は大きな応力が発生すると予測される最前列の矢板と最後列の矢板の応力分布である。前面矢板の地盤バネ定数と背面矢板の地盤バネ定数の比を 0.6 にとってあるので、前面矢板にかなりの応力集中が起こっているのがわかる。また、図-4.3 に井筒断面の応力分布を示した。

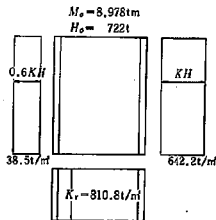


図-4.1 地盤バネ定数のモデル化 (石狩大橋)

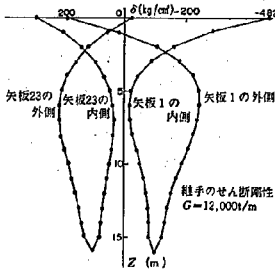


図-4.2 矢板の応力分布 (石狩大橋)

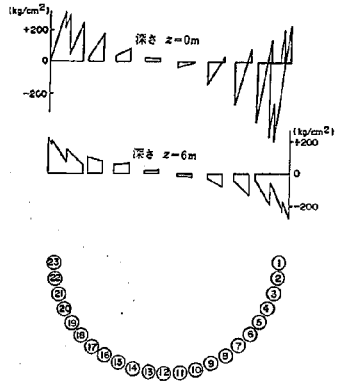


図-4.3 井筒断面の応力分布 (石狩大橋)

次に矢板の応力に影響すると思われるパラメーター、 $(\gamma_1 \sim \gamma_6)$ を選んで、各パラメーターの応力に対する影響を調べた。図-4.4 に着目する応力を求める点を示す。

図-4.5～図-4.13 に各パラメーターと矢板の応力度の関係を図示してある。この中で最も大きな影響を与えるパラメーターは継手のせん断剛性に関するものである。

(図-4.9と図-4.10)

継手のせん断剛性として $G_j = 60,000 \text{ t/m}^2$ とすると、くい基礎の場合 ($G = 0$) に比べて応力約 30%～50%程度少なくなる。

次に影響が大きいものとして矢板の板厚に関するパラメーター γ_6 がある。図-4.13 に示すとおり、例えば板厚 10.5mm のものに対して、板厚 20mm の場合、30～40%程度応力が減少する。また、図-4.5 から井筒前面と背面の地盤バネ比によって前面矢板への応力の集中度が異なることがわかる。例えばその比が 0 と 1 では応力が 30%程度異なる。これは井筒の断面変形による影響だと考えられる。

他のパラメーターについては、それほど大きな影響が出なかった。このことから設計の際、注意しなければならないことは、継手に信頼性を持たせること、応力集中が予測される箇所には（施工時の残留応力など）内厚の大きい矢板を使用する（あるいは矢板に中詰コンクリートを打設する）と合理的な設計ができよう。また設計上、前面矢板への応力集中も考慮する必要がある。

(2) 変形特性

一般的にいつて、計算によって変位を推定するのは非常にむずかしい。それは地盤と構造物の相互作用の解析及び地盤条件の推定がむずかしいことによる。

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

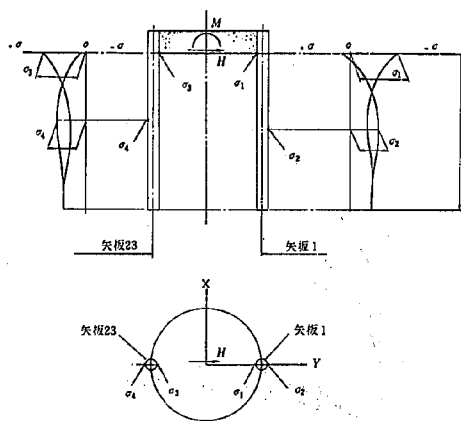
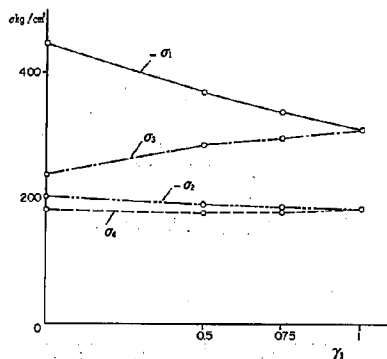


図-4.4 着目する応力を求める点

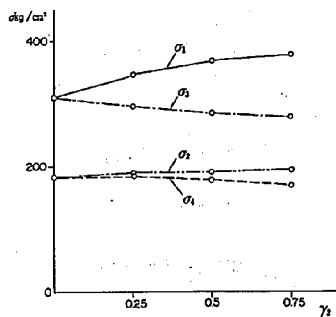
井筒前面の地盤バネと背面の地盤バネの比を変えた場合

$$\gamma_1 = \frac{(k_a)_1}{(k_b)_1}$$

図-4.5 パラメータ γ_1 による影響

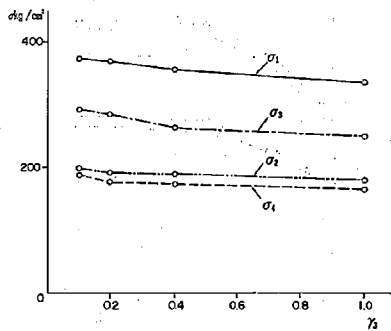
井筒背面の地盤バネが変化する区間の長さを変えた場合

$$\gamma_2 = \frac{l_1}{l_0} \quad l_0 = 16m$$

図-4.6 パラメータ γ_2 による影響

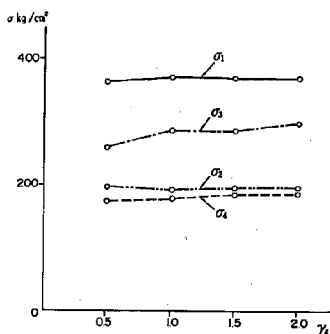
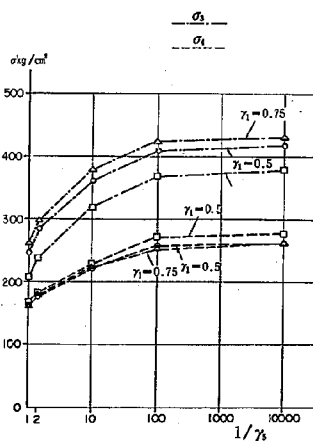
側面の地盤バネを変えた場合

$$\gamma_3 = \frac{(k_a)_1}{(k_b)_1, N=25}$$

図-4.7 パラメータ γ_3 による影響

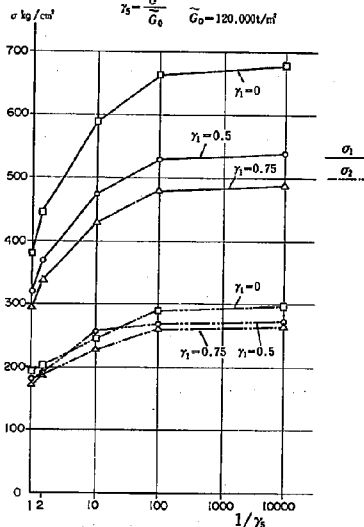
底面の地盤バネを変えた場合

$$\gamma_4 = \frac{K_V}{(K_V)_{N=50}}$$

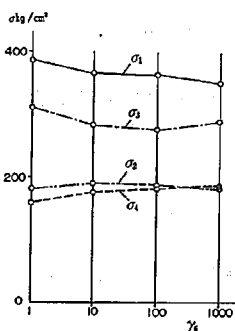
図-4.8 パラメータ γ_4 による影響図-4.10 パラメータ γ_5 による影響 (その2)

継手のせん断剛度を変えた場合

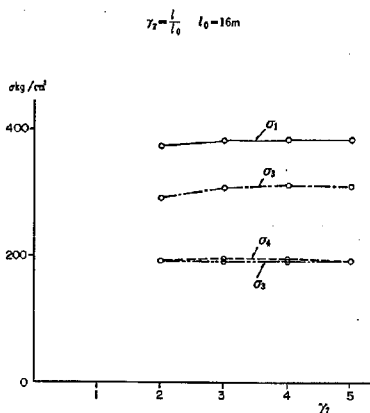
$$\gamma_5 = \frac{\tilde{G}}{G_0} \quad \tilde{G}_0 = 120,000 \text{ t/m}^2$$

図-4.9 パラメータ γ_5 による影響 (その1)非荷周長線の伸張変形の剛度 E_S を変えた場合

$$\gamma_6 = \frac{E_S}{E_{S0}}$$

 $E_{S0} = 650.3 \text{ t/m}^2$ 活荷重(鋼管自身の断面変形に対する剛度)
図-4.11 パラメータ γ_6 による影響

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

井筒の根入れ長を変えた場合 (l_0 は一定)図-4.12 パラメータ γ_1 による影響

前に述べた石狩大橋の例において水平変位を計算したのが図-4.14である。このモデルは D/L (井筒径/根入れ長) がかなり小さいので、ケーソンの場合の剛体挙動に近いものになっている。構造物是对称であるのに最前列の矢板と最後列の矢板でかなりずれているが、これは井筒の断面変形の影響によるものと考えられる。この井筒の断面変形は、前面と背面の地盤バネの違いによって生じると考えられる。

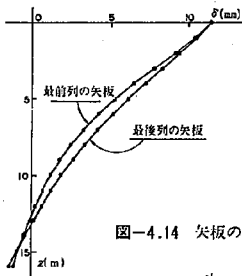
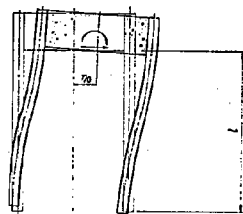
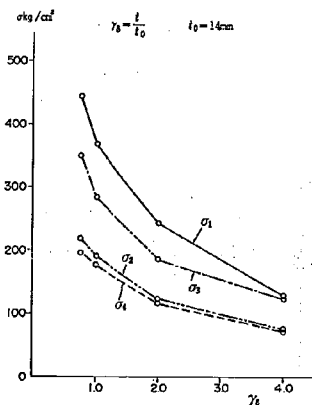


図-4.14 矢板の水平変位 (石狩大橋)

図-4.15 着目する水平変位 μ 。

矢板の板厚を変えた場合

図-4.13 パラメータ γ_8 による影響

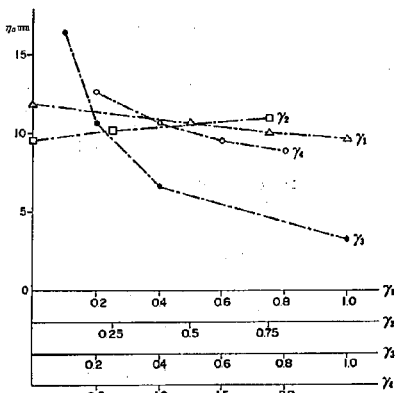
応力の場合と同様にパラメーター解析をして、各パラメーターによる頂版下端の水平変位への影響を調べた。(図-4.15) その結果は図-4.16～図-4.18に示した。この結果から水平変位に対して、側面の水平方向地盤反力係数の影響が非常に大きく、他のパラメーターによる

$$\gamma_1 = \frac{(kn)_2}{(kn)_1} \quad \text{：井筒前面の地盤バネと背面の地盤バネを変えた場合}$$

$$\gamma_2 = \frac{l_1}{l_0} \quad \text{：井筒背面の地盤バネが変化する区間の長さを変えた場合}$$

$$\gamma_3 = \frac{(kn)_2}{(kn)_1} N=25 \quad \text{：側面の地盤バネを変えた場合}$$

$$\gamma_4 = \frac{Kv}{(Kv) N=50} \quad \text{：底面の地盤バネを変えた場合}$$

図-4.16 パラメータ $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ による影響

影響は非常に小さいといえる。とくに図-4.17をみてもわかるように水平変位は継手のせん断剛性にあまり影響を受けないことが注目される。

継手のせん断剛度を変えた場合

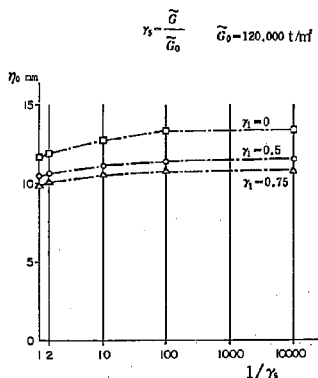


図-4.17 パラメータ γ_3 による影響

(3) D/L (井筒径/根入れ長) 及び頂版と矢板の結合条件による影響

矢板式基礎の標準特性において、 D/L (井筒径/根入れ長) の比、及び頂版と矢板の結合条件 (剛結、ピン結合) によって応力、変位等がどの程度影響を受けるか、

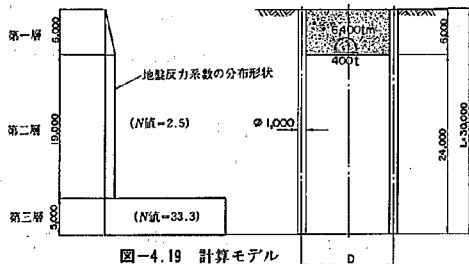


図-4.19 計算モデル

表-4.1 計算ケースと地盤反力係数

ケース 番号	矢板 本数	井筒径 $D(m)$	D/L	地盤反力係数 (t/m^2)							
				第1, 2層		第3層			底面		
				K_{H1}	K_{H2}	K_{H3}, K_{H2}	K_{H1}	K_{H2}	K_{H3}, K_{H2}	K_r	K_s
①	22	9.272	0.309	391.2	2.9	78.2	8604	8604	1721	48000	16000
②	28	11.800	0.393	357.3	27.7	71.5	7860	7860	1572	43850	14620
③	42	17.700	0.590	306.9	74.3	61.4	6752	6752	1350	37660	12550
④	50	21.072	0.702	287.5	96.3	57.5	6324	6324	1265	35280	11760
⑤	72	30.344	1.011	250.8	148.7	50.2	5516	5516	1103	30770	10260

$\gamma_1 = \frac{E_s}{E_{s0}} \cdot E_{s0} = 660.3 t/m^2$: 井筒周長線の伸張変形の剛度 E_s を変えた場合

$\gamma_7 = \frac{l}{l_0} \cdot l_0 = 16m$: 井筒の根入れ長を変えた場合

$\gamma_8 = \frac{t}{t_0} \cdot t_0 = 14mm$: 矢板の板厚を変えた場合

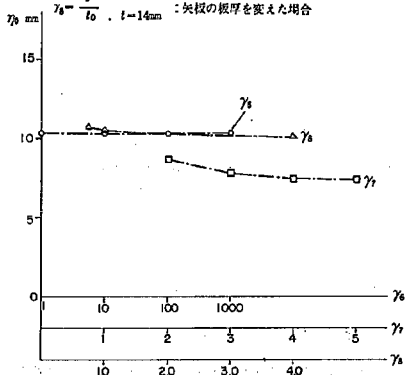


図-4.18 パラメータ γ_6 、 γ_7 、 γ_8 による影響

実際のモデルを理想化して要因分析を行なった。計算手法として、(1)と(2)で用いた三次元解析プログラムではなくて、5章でのべる計算法を用いた。図-4.19に計算モデル、表-4.1と表-4.2に計算ケース、地盤反力係数、計算モデルの条件を各々示した。

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

表-4.2 計算モデルの条件

モデル	井筒天端の境界条件	継手のせん断剛度 G_j
A	頂版と矢板は剛結	30000 t/m
B	〃 ヒンジ結合	30000 〃
C	〃 剛結	0 (抗基礎)
D	〃 ヒンジ結合	0 (抗基礎)

(a) 天端水平変位と D/L の関係

天端水平変位特性をみるために、図-4.20に示すように、 D/L (井筒径/根入れ長) とモデルA~Dについて整理した。 η_B/η_A (モデルBの天端水位変位/モデルAの天端水平変位) は、 D/L が変位してもほとんど変化がない。モデルA, B ($G_j=30000\text{ t/m}^2$ の矢板式基礎の場合) の違いは、頂版と矢板の結合部が剛結かピン結合かの違いだけである。それ故、継手のせん断剛性が十分確保されていれば、天端水平変位はその結合条件にはほとんど左右されないということができよう。

一方、 η_c/η_A は、 $0.5 < D/L < 1.0$ の範囲で大体1.5程度である。上記範囲において、 η_c は基礎 (モデルD, Cは継手剛性がゼロ) の場合、頂版部の結合条件の違いでかなりの開きがあり、ピン結合の方が剛結に比べて1.5倍程度大きい。

また、矢板式基礎とくに基礎の間では、 D/L が1.0に近づくにつれて、 η_c の方が変位が大きくなる。 $D/L=1.0$ の時で、 η_c の方が1.5倍程度大きくなっている。 $(\eta_c/\eta_A$ の曲線から)

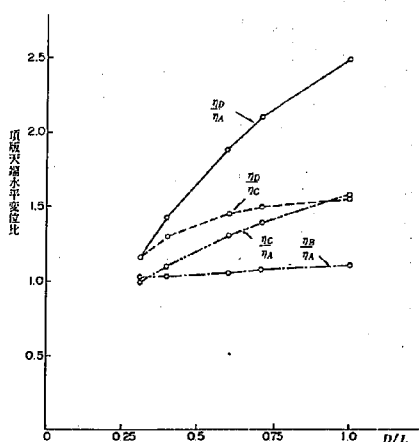
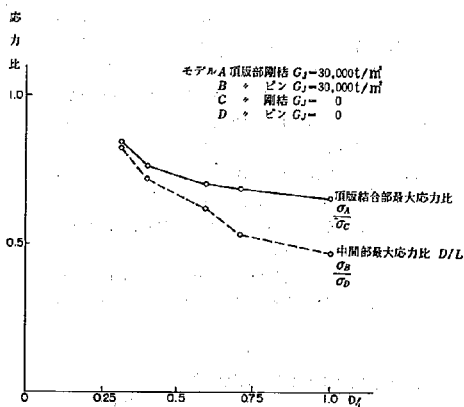


図-4.20 各モデルに対する井筒天端 (頂版下端) の水平変位比

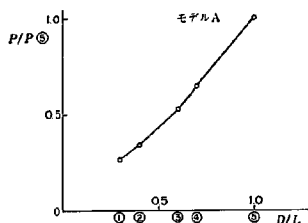
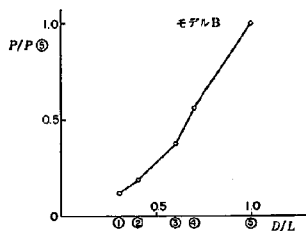
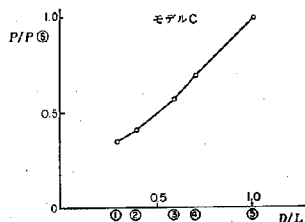
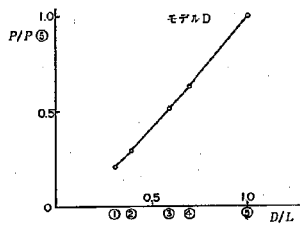
(b) 応力と D/L の関係

設計をする場合、矢板頭部の応力は頂版と矢板が剛結されているとし、また中間部の応力は頂版と矢板がピン結合として矢板の設計応力を求めるのが安全側と考えられる。それで矢板式基礎 (A, Bモデル) は、 η_c 基礎 (C, Dモデル) に比べて応力がどの程度低下するかを分析した。図-4.21は縦軸に応力比 (矢板式基礎/ η_c 基礎)、横軸に D/L をとってある。 D/L が1.0に近づくにつれ、応力比は低下していく。継手が十分な耐力を持つなら、井筒径が大きくなる程、 η_c 基礎に比べて矢板式基礎は有利になっていくといえる。しかし、それだけ継手にかかる負担は増大する。

図-4.21 各モデルに対する応力と D/L の関係

(c) 水平力に対する耐力特性

各モデルA, B, C, Dについて、 D/L に対する耐力比を求めた。この比較を行なうため、矢板の最大応力値を各ケースで一定として補正した。この結果から、矢板式基礎 (モデルA, B) の場合も、 η_c 基礎 (モデルC, D) の場合も根入れ長を一定とすると、井筒径にほぼ比例して水平耐力が増大している。(図-4.22~図-4.25) ただし、隔壁の影響は無視している。

図-4.22 D/L に対する耐力比図-4.23 D/L に対する耐力比図-4.24 D/L に対する耐力比図-4.25 D/L に対する耐力比

一般に矢板式基礎全体の挙動は井筒規模によって単一的なものから、矢板式基礎独特のもの、群ぐいと変化していく。基礎径が小さい場合（10 m程度まで）ほぼ単一的な挙動を示す。この場合は継手が非常に有効に働き、継手によって各矢板の一体性が保たれていることを意味する。基礎径が比較的大きい場合（10 m～20 m程度）、ケーソンと群ぐいの中間的な挙動を持つようになる。現在用いられている鋼管矢板の継手強度を考慮すると、最も効率的に全体特性を有利に保つことができるので、矢板式基礎の最も適した寸法範囲といえよう。それ以上、基礎径が大きくなると、現状での継手の構造や施工方法では各矢板の一体性を保つのに強度が不足し、群ぐいの挙動に近くなる。それ故、非常に規模の大きい矢板式基礎においては、適当な隔壁を設け、より強い継手を使用する必要がある。

(2) 模型実験による構造特性の検討

矢板式基礎の構造特性を模型実験によって検討するため、土研基礎研究室の土槽（8×5×4 m）を用いて土

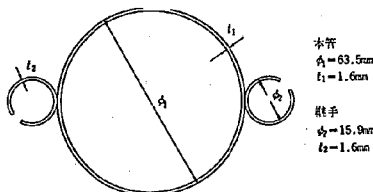


図-4.26 鋼管矢板の諸元

本管
 $\phi_1 = 63.5 \text{ mm}$
 $t_1 = 1.6 \text{ mm}$
 継手
 $\phi_2 = 15.9 \text{ mm}$
 $t_2 = 1.6 \text{ mm}$

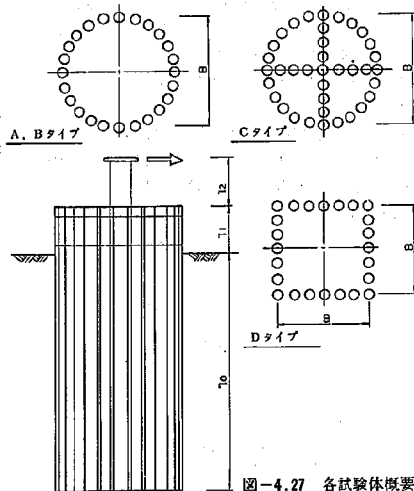


図-4.27 各試験体概要

試験体	l_0 (m)	l_1 (m)	l_2 (m)	B (cm)	くい数	隔壁
A	1.5	0.3	0.3	64.7	24	
B	1.0			67.4	25	
C	1.5			50.8	24	13
D						

中実験を実施した。実験地盤は最大粒径2mm、均等係数1.87、乾燥密度 1.48 kg/cm^3 の山砂である。地盤の作成では20cm程度の厚さで敷き均し、最適含水比状態になるように散水した後、ランマーで約15cm厚さに締め固めた。

試験体の製作に用いた矢板は図-4.26に示すもので、継手部の処理は行なわなかった。図-4.27に試験体の概要を示すが、試験の着目ポイントとして、矢板井筒の形状、根入れ長さ、隔壁の有無などによる耐力差、応力分布等の相違をみようとするものである。図-4.28に水平載荷試験例を示した。

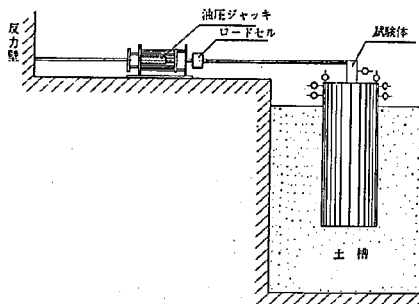


図-4.28 水平載荷試験例

(1) 水平荷重～頂版中央部水平変位

4 試験体における水平荷重と頂版中央部水平変位の関係を示したのが図-4.29である。試験体AとBの違いは、根入れ長が各々1.5m、1.0m以外はすべて同一条件である。同一変位に対してこれらを比較してみると、水平変位が20mmまでは、Aの方が20%程度大きいだけであるが、変位が20mmを越えるとAは相当大きくなる。これは変位が20mm程度でBの地盤が降伏したためと考えられる。比較の変位が小さい間では根入れ長の効果は小さいといえる。これは(1)の解析による傾向と同じである。

試験体AとCにおいては、Cには十字に組まれた隔壁がある。この場合、同一変位に対してかなり大きな荷重差が生じ、Cの方が50～60%程度大きい。これは隔壁を入れると耐力が向上することを示している。

試験体AとDでは断面形状が異なる。Aは円形、Dは矩形である。この場合は、Dの方が少し大きいけれども同程度とみなしうる。両者の前面地盤バネの分布効果を考慮すると、断面形状の違いによる耐力差は無視することができよう。

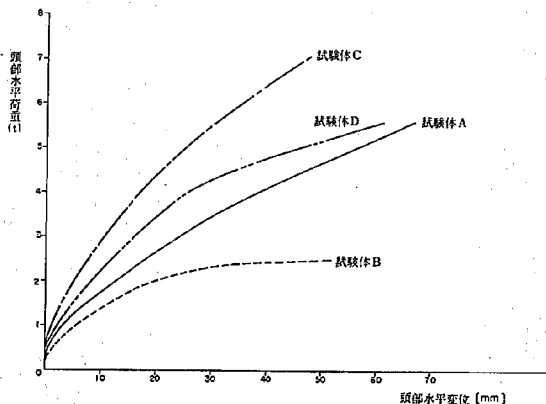


図-4.29 水平荷重～頂版中央部水平変位

(2) 水平荷重に対する矢板の歪分布

各試験体の水平荷重に対する深さ方向の歪分布を図-4.30～図-4.33に示した。試験体Cについては内側に隔壁があるため、内側には歪ゲージをてん付しなかった。

これらの歪分布は、水平荷重に対して最大歪の発生している最前列の矢板に着目したものである。

根入れ長さに違いのある試験体AとBにおいては、Bの最大荷重(2.5t)までの範囲で比較すると、歪分布に

おける違いはほとんどない。

隔壁があるかないかの違いの試験体AとCにおいては、隔壁のあるCの重が小さく、Aの半分程度である。

断面形状の異なる試験体AとDにおいては、両者の違いはほとんどないといってよい。

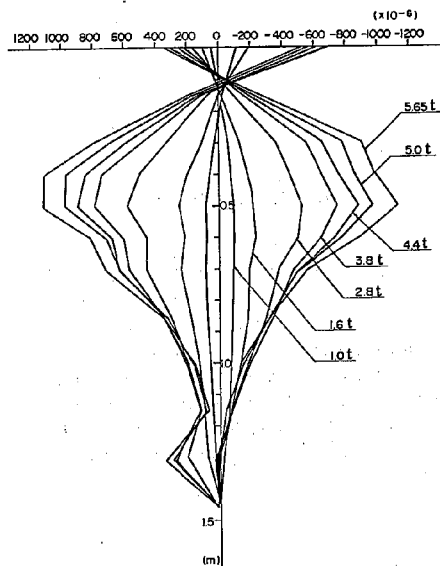


図-4.30 最前列矢板の重分布 (試験体A)

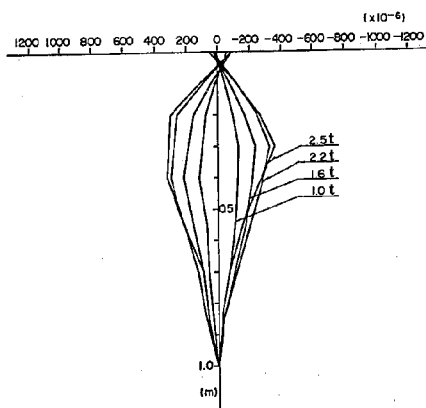


図-4.31 最前列矢板の重分布 (試験体B)

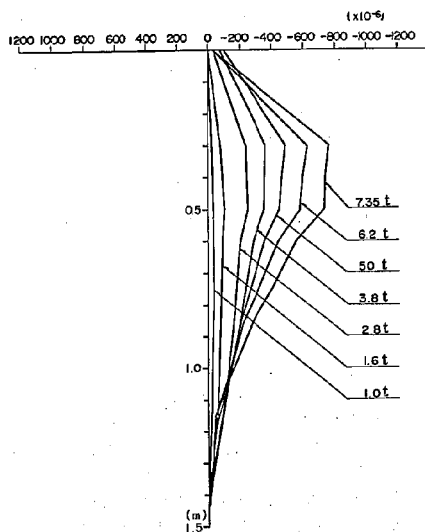


図-4.32 最前列矢板の重分布 (試験体C)

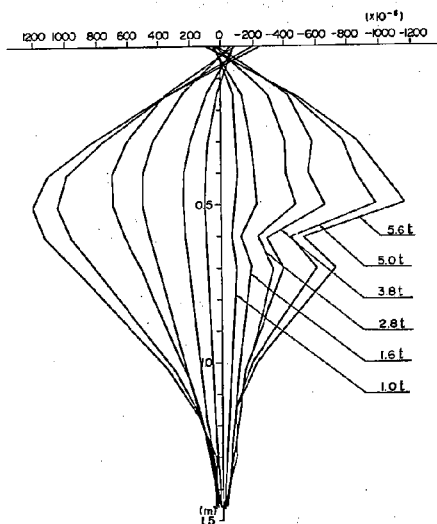


図-4.33 最前列矢板の重分布 (試験体D)

次に井筒断面方向の歪分布について検討する。水平荷重3.6tの時の試験体AおよびDの各深さ50cmの断面の歪分布を図-4.34、図-4.36に示した。両者において注目されることは、前面矢板にひずみが集中していることである。前面側矢板に発生しているひずみは背面側矢板のそれに比して約2倍程度となっている。

一方、隔壁のある試験体Cの場合についてみると、図-4.35から、前面矢板にそれほど歪が集中していないのがわかる。

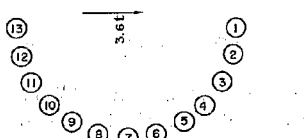
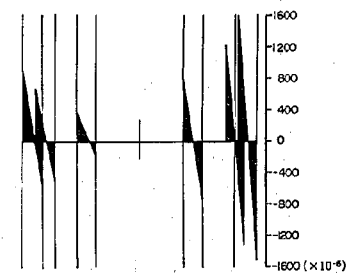


図-4.34 井筒断面の歪分布 (試験体A)

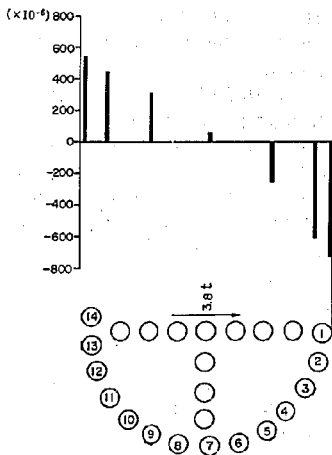


図-4.35 井筒断面の歪分布 (試験体C)

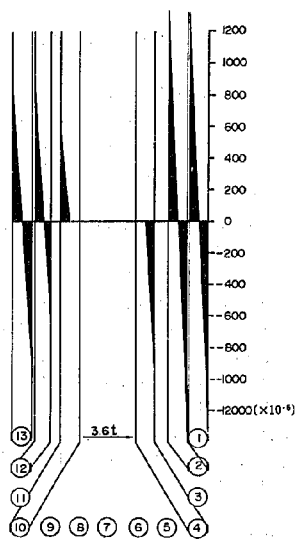


図-4.36 井筒断面の歪分布 (試験体D)

5. 矢板式基礎の設計計算法の検討

(1) 矢板式基礎の設計計算法の位置づけ

矢板式基礎の設計計算法の検討をするにあたって、少なくともくい基礎の計算法よりも精度を落とさず、かつくい基礎の設計指針に矛盾しないことを第一に考慮した。ここでのべる計算法は矢板間の継手のずれ変形を考慮したことによってこの条件を満足している。すなわち、継手の剛性を無視すると、くい基礎の計算法に一致する。基本的には弾性床土上の梁の式であるから、継手でずれ変形を起こさないとすると、単くい (YL Chang 式) の計算法に一致する。矢板式基礎のような集成部材からなる基礎を任意に取り扱え、かつくい基礎、ケーソン基礎 (弾性体) にも適用できるものである。このように、深い基礎に対して等しく適用でき、かつ現行の設計体系に矛盾しないという点で、基礎の設計分野において、その一元化をばかるための新しい式といえよう。しかし、地盤バネ定数の統一化の問題が残されている。くい基礎のように個々のくいに対して決められる地盤バネ定数と、ケーソン基礎のように全体として決められる地盤バネ定数の相違が問題となる。載荷幅に対する補正計算式は一応指針の中に取り入れられているが、基礎の剛性による地盤の抵抗機構の解明がまだなされていない。このように地盤バネ定数の統一化が出来た時、初めて基礎の設計

の体系化が実現しよう。

矢板式基礎に影響する因子は従来の基礎構造物に比べると多く、また複雑である。これらを全て基本式の中に組み入れると非常に煩雑なものとなり、およそ実用計算式としては不向きなものとなる。またこれらの因子のうち、とくに地盤の耐力機構に関するものは未解決の問題が多く、考えられる因子を全て組み入れても無意味となる。そこで本提案式では、設計計算として複雑にならない範囲で矢板式基礎の基本的な性質を組み入れ、かつ種々の断面形状の矢板式基礎に適用できることを念頭において作成した。ここで求めた基本式は、継手のせん断断性を無限大にすると（ずれ変形を無視する）、弾性体としてのケーソンを表現できる。また継手のせん断断性を零とすると変位を考慮したくい基礎の式になる。矢板式基礎がケーソンとくい基礎の中間的な存在であることを文字通り数式上で表現している。

いずれにしても、本計算法が集成部材基礎を一般に取り扱えるので、新しい基礎構造を生み出す時の下地となるものと思われる。

(2) 基本方針

(1) 設計の基本条件

(i) 矢板式基礎の井筒部底面における最大地盤反力度とその位置における地盤の許容支持力を比較して照査する。

(ii) 矢板式基礎の井筒部底面におけるせん断抵抗力と井筒部底面と地盤との間に働く許容せん断力を比較して照査する。

(iii) 矢板式基礎の井筒部前面における最大地盤反力度とその位置における地盤の受働土圧を比較して照査する。

(i), (ii), (iii)については道路橋下部構造設計「ケーソン基礎の設計篇」によっている。

(iv) 矢板式基礎の変位については、上部構造との関連から決まる許容変位量を考慮に入れて検討する。

(v) 矢板式基礎各部の応力度と許容応力度を比較して照査する。

(vi) 矢板式基礎の水平抵抗は、各矢板相互間のせん断ずれ変形を考慮した弾性床上の梁として計算する。その場合、継手部のせん断応力度と許容せん断応力度を比較して照査する。

これは矢板式基礎の地震力を考慮した計算手法の原則を示したものである。

矢板式基礎は矢板を継手で連結し、かつ閉塞形状に打設して、各矢板の一体性を高めたものである。その設計には、挙動の異なる小規模の矢板式基礎と、大規模の矢

板式基礎に共通で、かつ合理的に適用できる計算手法が必要である。ここでは各矢板相互のせん断ずれ変形を考慮した計算方法が最も汎用性を有するのととりあげた。しかし、矢板式基礎の特徴を考慮して適用範囲を限定すればくい基礎の計算法、あるいはケーソン基礎の計算法を適用することは可能である。

(2) 計算上の条件

(i) 矢板式基礎の規模などによって井筒内部の地盤抵抗を考慮する。

矢板式基礎の井筒径が十分に大きいと、井筒内部土の水平力に対する地盤抵抗を考慮することができる。しかし井筒径が比較的小さい場合には、内部の地盤抵抗を無視する方がよい。

(ii) 矢板間の継手のせん断抵抗を考慮する。

一般に継手のせん断抵抗を考慮して設計してもよい。継手のせん断耐力が大きくなると、各矢板の一体性が高まり、全体の剛性が高くなる。それ故、継手のせん断抵抗を考慮した方が設計上合理的になる。しかし、この場合、実験、経験などによって、設計上、十分に安全な継手のせん断耐力、許容せん断応力度を推定する必要がある。

(iii) 井筒内部の土の地震時の慣性力を必要に応じて考慮する。

道路橋耐震設計指針で規定する耐震地盤面の位置によって、井筒内部土の慣性力を考慮する。この場合、内部土のどの程度までの質量を考慮するか検討する必要がある。また、基礎構造の減衰定数を決定する場合、井筒内部土の効果を含めて考えてよい。

(iv) 矢板式基礎の規模等によって、井筒壁の断面変形を考慮する。

矢板式基礎の規模が大きくなると、個々の矢板の剛性に比べて、全体の井筒の剛性が大きくなる。そのような場合、一般に井筒の断面変形を無視できなくなる。井筒の断面変形が生じると、部分的に矢板壁に応力集中が発生する。たとえ断面変形を考慮しない計算手法を使うとしても、上記のような場合、発生応力の割り増しを考え、安全になるように設計する。

(v) 井筒内部に隔壁を設ける場合は、その水平抵抗を考慮し、かつ井筒壁の断面変形を一般に無視する。

太径の矢板式基礎の場合、井筒の断面変形を阻止する効果があるものとして隔壁を設ける。十分な隔壁を設けた場合、一般に井筒の断面変形の影響を無視することができよう。また、水平力に対しては隔壁の水平抵抗を考慮する。特殊な場合、隔壁にかはるものとして二重の井筒壁にすることも有効である。

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

(Ⅳ) 仮締切兼用工法として使用する場合は、一般に施工時に生じた矢板壁の応力は完成後にも残留するのでこの応力を考慮する。

矢板式基礎の大きな長所の1つは、施工時の締切りとして、本体の矢板壁を水面上にまで立ち上げて、そのまま締切りに使えることである。過去の施工実績を見ても仮締切兼用の矢板式基礎が過半を占めている。一般に、このような仮締切兼用矢板式基礎の場合、施工時の水圧などによって本体の矢板壁に残留応力が生じる。ゆえに、設計上この影響を考慮するのがよい。特に、水深の大きい場合には注意を要する。

(3) 頂版の設計

頂版と矢板の接合部は剛結となるように設計する。

仮締切兼用の矢板式基礎では、頂版は井筒内部に設けられることになる。頂版と矢板の接合は、矢板壁に溶接したリアプレート、支圧板、鉄筋などによって行なわれる。この接合形式は従来のくい基礎、ケーソン基礎で見られないもので設計上特別の配慮を要する。一般に、水平変位などを考えてその接合が剛結となるようにする。

(4) 仮締切兼用工法における仮締切部の設計

仮締切に作用する荷重およびそれに対する反力は、施工順序に従って変動するので、施工段階を追って検討を行なう。

仮締切部の設計を行なう場合の標準的な施工順序は次のようになる。

- (Ⅰ) 井筒内水中掘削（水中コンクリート打設前）
- (Ⅱ) 支保工設置、水替（水中コンクリート打設後）
- (Ⅲ) 矢板の水中切断（注水時）

一般に上記の各段階を、仮締切部の設計の検討時期とするのがよい。

(3) 新しい設計計算法

(Ⅰ) 前提条件

図-5.1(a)に示すような井筒断面を考える。井筒の断面の重心Cに原点を有するX、Y座標を井筒の断面主軸と一致するように選び、井筒の軸方向にはZ座標を設定する。また図-5.1(b)に示すように矢板の重心点を連ねる仮想の薄肉断面を考え、この薄肉断面から成る井筒を仮想井筒とよぶことにする。この仮想井筒は単に不連続体を連続的に扱うための便宜的なもので、各矢板の重心軸はこの仮想井筒に固定されていると考える。

井筒の変位場を求めるため、この仮想井筒の変形に対し次の仮定を行なう。

- (Ⅰ) 仮想井筒の断面は変形しない。

- (Ⅱ) せん断変形は生ずるが、仮想井筒の断面は平面を保持する棒として扱う。

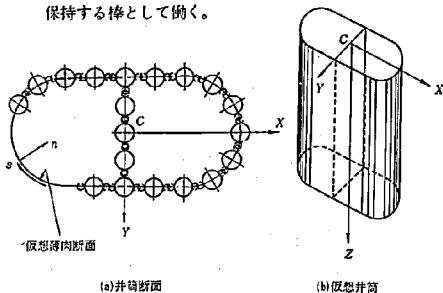


図-5.1 井筒と座標

- (Ⅲ) 各矢板断面は変位後も矢板中心軸に直交する平面を保持する。

- (Ⅳ) 井筒の断面構成はY軸に關し対称とする。すなわち、矢板の断面とその配置はもちろんのこと、継手のせん断剛性、矢板に作用する地盤バネ定数もY軸に關し対称とする。

- (Ⅴ) 仮想薄肉断面の板厚中心線は矢板の重心軸位置において矢板の断面主軸と一致していると考え。

- (Ⅵ) 仮想井筒の板厚中央面に矢板の重心軸は固定されており、矢板の重心軸は仮想井筒の板厚中央面と同じ変位をする。

- (Ⅶ) 外力はY-Z平面内に作用する。すなわち、水平外力の合力はY方向を向き、Y軸上にあり、鉛直(Z方向)外力の合力もY軸上にある。

(2) 仮想井筒の変位

仮想井筒の一般点のX、Y、Z方向の変位をそれぞれu, v, wと表わすと、前提(Ⅰ), (Ⅱ)により、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = \beta(Z) \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

である、前記の前提条件により、X軸方向の変位は生じないから、上式を積分し、

$$\left. \begin{aligned} u &= 0 \\ v &= v_0 \\ w &= w_0 - Y(v_0' - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

を得る。ここに v_0, w_0 は井筒の断面重心点のY、Z方向変位であり、 $(\quad)' = d(\quad)/dz$ を表わす。

図-5.1に示すように仮想薄肉断面の板厚中心線に沿う座標をs、それと直交する座標をnとする。s軸上(板厚中心線上、 $n=0$)のs、n方向の変位成分をそれぞれ ξ^s, η^n とする、またX、Y座標とs、n座標間での方向

余弦の s 軸上の値を

$$l^* = \left(\frac{\partial X}{\partial s} \right)_{s=0}, \quad m^* = \left(\frac{\partial Y}{\partial s} \right)_{s=0} \quad (5.3)$$

と表わすと、座標変換により

$$\left. \begin{aligned} \xi^* &= l^* u + m^* v = m^* v_c \\ \eta^* &= -m^* u + l^* v = l^* v_c \end{aligned} \right\} \quad (5.4)$$

となる。

(3) 各矢板の変位

図-5.2 に示すように各矢板の重心軸上に原点を有する局所座標 x, y を導入し、矢板重心位置における s 軸の接線と一致するように x 軸を定める。 y 軸の正の向きは、 s 座標の増加する方向に定める。また矢板の重心軸の変位の x, y, z 方向成分を各々 $(\xi)_i, (\eta)_i, (\zeta)_i$ と表わす。ここに $()_i$ において i はこの中の量が矢板 (i) に関する量を表す。今後、添字 i は、矢板 (i) または次節の継手 (i) を表わすのに用いる。

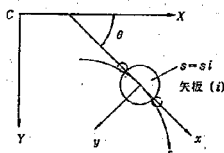


図-5.2 矢板の局所座標

X, Y 座標と矢板の局所座標 x, y 間の方向余弦を

$$l_0 = \frac{\partial X}{\partial x}, \quad m_0 = \frac{\partial Y}{\partial x} \quad (5.5)$$

とすると、前提条件(V)により

$$\left. \begin{aligned} (l_0)_i &= l^*(s=s_i), \\ (m_0)_i &= m^*(s=s_i) \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

であるから、

$$\left. \begin{aligned} (\xi_0)_i &= \xi^*(s=s_i, Z) \\ &= (m_0)_i v_c \\ (\eta_0)_i &= \eta^*(s=s_i, Z) \\ &= (l_0)_i v_c \\ (\zeta_0)_i &= w(Y=Y_i, Z) \\ &= w_c - Y_i(v_c' - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5.7)$$

となる。ここに、 Y_i は矢板 (i) の重心軸の Y 座標である。今後、誤解のない限り $()_i$ や Y_i の添字は省略して表わすことがある。

個々の矢板の一般点の変位成分を x, y, z 方向に $(\xi)_i, (\eta)_i, (\zeta)_i$ と表わすと、前提(III)により、これらは次のよ

うになる。ただし $()_i$ は省略して表わす。

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \xi_0, \quad \eta = \eta_0 \\ \zeta &= \zeta_0 - x\xi_0' - y\eta_0' \end{aligned} \right\} \quad (5.8)$$

したがって、矢板の軸方向ひずみは

$$\epsilon_s = \zeta' = \zeta_0' - x\xi_0'' - y\eta_0'' \quad (5.9)$$

となる。

井筒の矢板の多くは、図-5.2 に示すように矢板の重心と鋼管の中心は一致するとみなせ、さらに継手は x 軸上にあるが、井筒外壁と隔壁の交点や長方形断面の井筒の隅角部では、継手を矢板の断面に算入すると、 x, y 座標は図-5.3 のようになる。また式 (5.5) に示す方向余弦の具体的な値は図-5.2 のように角度 θ の正の向きに定めると、

$$l_0 = \cos \theta, \quad m_0 = \sin \theta \quad (5.10)$$

となる。

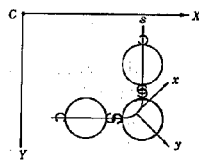
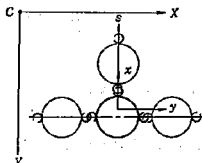
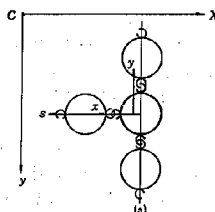


図-5.3 隅角部や外壁と隔壁の交点における矢板の局所座標

(4) 継手のずれ変位

矢板 (i) とそれに継手で結合される矢板を $(i+1)$ とし、その間の継手を継手 (i) とする。継手は図-5.4 に示すようにモデル化し、継手のせん断面は矢板 (i) の局所座標で、

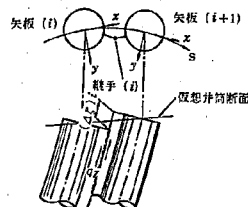


図-5.4 継手のずれ変位

$$x = xi, \quad y = yi$$

矢板 ($i+1$) の局所座標で、

$$x = xi+1, \quad y = yi+1$$

の位置にあるとする。このとき継手(i)のずれ変位 ($\Delta \xi$) _{i} は、

$$(\Delta \xi)_i = \{ \zeta(x=xi, y=yi, z) \}_i - \{ \zeta(x=xi+1, y=yi+1, z) \}_i \quad (5.11)$$

で計算される。上式に (5.8), (5.7) 式を代入し、

$$\begin{aligned} (\Delta Y)_i &= (Y_{i+1} - Y_i) \\ &= (m\alpha)_i x_i - (m\alpha)_{i+1} x_{i+1} \\ &\quad + (l\alpha)_i y_i - (l\alpha)_{i+1} y_{i+1} \end{aligned} \quad (5.12)$$

の関係をを用いると、

$$(\Delta Q)_i = -(\Delta Y)_i \beta$$

となる。

(5) 地盤の抵抗

(a) 側面地盤の抵抗

側面地盤抵抗は、図-5.5 に示すように、矢板の重心軸に沿って分布する x, y, z 方向の分布バネ $(kx)_i, (ky)_i, (kz)_i$ (単位は各々 l/m^2) として扱えるものとする。

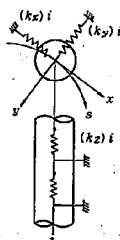


図-5.5 矢板の地盤バネ

したがって、矢板が受ける地盤反力は矢板の中心軸に作用し、その x, y, z 方向成分をそれぞれ $(prx)_i, (pry)_i, (prz)_i$ と表わすと、

$$\left. \begin{aligned} (prx)_i &= (kx \xi_0)_i \\ (pry)_i &= (ky \eta_0)_i \\ (prz)_i &= (kz \zeta_0)_i \end{aligned} \right\} \quad (5.14)$$

となる。

(b) 井筒内部土のせん断抵抗

井筒のせん断変形にともない、とくに比較的に長い井筒の内部の土は同じようなせん断変形を受ける。図-5.6 に示すように矢板に対し、

$$\bar{\tau}_{yz} = \bar{G} \gamma_{yz} = \bar{G} \beta \quad (5.15)$$

なる抵抗力を与えられ。ここに $\bar{G}$ は井筒内部の土のせん断変形に対する変形係数である。

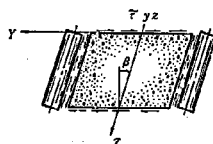


図-5.6 内部土のせん断抵抗

(c) 底面地盤の抵抗

井筒の底面地盤の抵抗も側面地盤の場合と同様に、矢板底面の重心軸位置に作用する x, y, z 方向のバネ $(Kx)_i, (Ky)_i, (Kz)_i$ で表わす。矢板底面の重心軸位置に作用する x, y, z 方向の底面地盤反力 $(P_x)_i, (P_y)_i, (P_z)_i$ を

$$\left. \begin{aligned} (P_{rx})_i &= (K_x \xi_0)_i \\ (P_{ry})_i &= (K_y \eta_0)_i \\ (P_{rz})_i &= (K_z \zeta_0)_i \end{aligned} \right\} \quad (5.16)$$

と表わす。

(6) つり合い式と境界条件

仮想仕事の定理によると、矢板の中心軸に作用する分布外力と両端断面に表面力を受けている井筒のつりあい、次のように表わされる。

$$\begin{aligned} & \int_{z_1}^{z_2} \{ \int_{A_p} \sigma_z \delta \varepsilon_z dA_p + prz \delta \varepsilon_0 + pry \delta \eta_0 \\ & \quad + prx \delta \zeta_0 \}_i + \int_{z_1}^{z_2} \{ q_z \delta (\alpha \zeta) \}_i \\ & \quad + \int_{z_1}^{z_2} \bar{\tau}_{yz} \delta \gamma_{yz} d\bar{A} \}_i dz \\ & - \int_{z_1}^{z_2} \{ (P_x \delta \xi_0 + P_y \delta \eta_0 + P_z \delta \zeta_0)_i dz \\ & \quad - \left[\nu_x \int_{z_1}^{z_2} \int_{A_p} (\bar{P}_x \delta \xi + \bar{P}_y \delta \eta + \bar{P}_z \delta \zeta) dA_p \}_i \right. \\ & \quad \left. + \nu_z \int_{z_1}^{z_2} \bar{\tau}_{yz} \delta \gamma_{yz} d\bar{A} \right]_{z_1}^{z_2} = 0 \end{aligned} \quad (5.17)$$

ここに、

z_1, z_2 : 井筒両端の Z 座標

$(\sigma_z)_i$: 矢板(i)の Z 方向直応力

$(q_z)_i$: 継手(i)のせん断流

$(P_x)_i, (P_y)_i, (P_z)_i$: 矢板(i)の重心軸に作用する x, y, z 方向の分布外力

$(\bar{P}_x)_i, (\bar{P}_y)_i, (\bar{P}_z)_i$: 矢板(i)の両端断面に分布して作用する x, y, z 方向外力

$(prx)_i, (pry)_i, (prz)_i$: 矢板(i)の重心軸に作用する x, y, z 方向の側面の地盤反力

$\bar{P}_y$: 内部土の両端断面に分布して作用する Y 方向外力

ν_z : 井筒両端断面の外向き単位法線ベクトル

ルのZ座標の正方向成分

井筒の両端断面は、Z軸に直交しているの、 $Z_1 < Z_2$ のとき、

$$\nu_z = \begin{cases} -1 & (Z = Z_1) \\ 1 & (Z = Z_2) \end{cases} \quad (5.18)$$

である。

式(5.1), (5.7)~(5.9)を式(5.17)に代入し、

$$\left. \begin{aligned} (N_p)_i &= (\int_{A_p} \sigma_z dA)_i \\ (M_{xp})_i &= (\int_{A_p} \sigma_z x dA)_i \\ (M_{yp})_i &= (\int_{A_p} \sigma_z y dA)_i \end{aligned} \right\} \quad (5.19)$$

$$\left. \begin{aligned} N &= \sum_i (N_p)_i, \quad M^* = \sum_i (N_p Y)_i \\ M &= \sum_i (N_p Y + m_o M_{xp} + l_o M_{yp})_i \end{aligned} \right\} \quad (5.20)$$

$$\left. \begin{aligned} prh &= \sum_i (m_o prx + l_o pry)_i \\ prv &= \sum_i (P_{rx})_i, \quad m_{rv} = \sum_i (prx Y)_i \end{aligned} \right\} \quad (5.21)$$

$$\bar{Q}_E = \int_A \bar{\tau}_{yz} d\bar{A} \quad (5.22)$$

$$\left. \begin{aligned} PH &= \sum_i (m_o P_x + l_o P_y)_i \\ PV &= \sum_i (P_x)_i, \quad M_v = \sum_i (P_x Y)_i \end{aligned} \right\} \quad (5.23)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{Q} &= \sum_i \{ \int_{A_p} (m_o \bar{P}_x + l_o \bar{P}_y) dA \}_i \\ &\quad + \int_A \bar{\tau}_{xy} d\bar{A} \\ \bar{N} &= \sum_i \{ \int_{A_p} \bar{P}_z dA \}_i \\ \bar{M}^* &= \sum_i \{ Y \int_{A_p} \bar{P}_z dA \}_i \\ \bar{M} &= \bar{M}^* + \sum_i \{ m_o \int_{A_p} \bar{P}_z x dA \\ &\quad + l_o \int_{A_p} \bar{P}_z y dA \}_i \end{aligned} \right\} \quad (5.24)$$

と表わすと⁽¹¹⁾、式(5.17)は次のようになる。

$$\begin{aligned} f_{Z_1}^{Z_2} \{ N \delta w_c' - M \delta v_c'' + M^* \delta \beta' \\ + prh \delta v_c + prv \delta w_c - m_{rv} \delta (v_c' - \beta) \\ - \sum_i (q_z \sin Y)_i \delta \beta + \bar{Q}_E \delta \beta \} dZ \\ - f_{Z_1}^{Z_2} \{ PH \delta v_c + PV \delta w_c \\ - M_v \delta (v_c' - \beta) \} dZ - \left[\nu_z \{ \bar{Q} \delta v_c \right. \\ \left. + \bar{N} \delta w_c - \bar{M} \delta v_c' + \bar{M}^* \delta \beta \} \right]_{Z_1}^{Z_2} = 0, \end{aligned} \quad (5.25)$$

上式を変位パラメーター v_c, w_c, β に関して部分積分を行うと、これらの変位パラメーターの変分量の係数から、つり合い式と力学的境界条件が次のように求まる。これらのつり合い式や力学的境界条件にかかる変分量を参考として式の最後に記しておく。

(つり合い式)

$$\left. \begin{aligned} -M'' + prh - PH + (m_{rv} - M_v)' &= 0, \quad (\delta v_c) \\ -N' + prv - PV &= 0, \quad (\delta w_c) \end{aligned} \right\}$$

注) 式(5.20)~(5.24)において()内のYは矢板重心軸のY座標を意味する。今後とも同様に表現する。

$$\left. \begin{aligned} -M^* - \sum_i (q_z \sin Y)_i + \bar{Q}_E + m_{rv} - M_v \\ = 0, \quad (\delta \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5.26)$$

($Z = Z_1, Z_2$ における力学的境界条件)

$$\left. \begin{aligned} \nu_z \bar{Q} - (M' - m_{rv} + M_v) &= 0, \quad (\delta v_c) \\ \nu_z \bar{M} - M &= 0, \quad (\delta w_c) \\ \nu_z \bar{N} - N &= 0, \quad (\delta w_c) \\ \nu_z \bar{M}^* - M^* &= 0, \quad (\delta \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5.27)$$

(7) 応力と変位の関係

(a) 矢板の断面力

ここでは1つの矢板に着目するので、()は全て省略する。矢板材のヤング係数をEとすると矢板の直応力と変位の関係は式(5.9)により次のようになる。

$$\sigma_z = E \epsilon_z = E (\epsilon_o' - x \epsilon_o'' - y \eta_o') \quad (5.28)$$

各矢板の局所座標は矢板の断面主軸と一致するように選んだので、

$$\int_{A_p} x \sigma_z dA = \int_{A_p} y \sigma_z dA = \int_{A_p} x y \sigma_z dA = 0 \quad (5.29)$$

となる。したがって式(5.28)を式(5.19)に代入し、

$$\left. \begin{aligned} N_p &= EA \epsilon_o' \\ M_{xp} &= -E I_{xp} \epsilon_o'', \quad M_{yp} = -E I_{yp} \eta_o' \end{aligned} \right\} \quad (5.30)$$

を得る。ここに、

$$\left. \begin{aligned} A_p &= \int_{A_p} dA \\ I_{xp} &= \int_{A_p} x^2 dA, \quad I_{yp} = \int_{A_p} y^2 dA \end{aligned} \right\} \quad (5.31)$$

であり、着目している矢板の断面積と断面主軸まわりの断面二次モーメントである。⁽¹¹⁾

(b) 井筒の断面力

図-5.1の点Cは井筒の断面重心としてしているので、

$$\sum_i (A_p Y)_i = 0 \quad (5.32)$$

であるから、式(5.30), (5.7)を式(5.20)に代入すると、

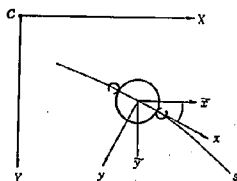
$$\left. \begin{aligned} N &= EA \epsilon_o' \\ M^* &= -E I_{Q^*} (\epsilon_o'' - \beta') \\ M &= -E I_Q \epsilon_o'' + E I_{Q^*} \beta' \end{aligned} \right\} \quad (5.33)$$

となる。ここに、

$$\left. \begin{aligned} A_Q &= \sum_i (A_p)_i \\ I_Q^* &= \sum_i (A_p Y^2)_i \\ I_Q &= I_Q^* + \sum_i (m_o^2 I_{xp} + l_o^2 I_{yp})_i \end{aligned} \right\} \quad (5.34)$$

である。 A_Q は井筒の総断面積、 I_Q^* は矢板自身の断面二次モーメント、 I_Q は矢板の断面二次モーメントを考慮したときの井筒の断面二次モーメントである。図-5.7に

注) 本報告では、例えば M_{xp}, I_{xp} は、 x 軸まわりの曲げモーメントと断面二次モーメントであり、添字 x, y の使い方が通常のものと異なるので注意すること。

図-5.7 局所座標 ($\tilde{x}$, $\tilde{y}$)

示すように X , Y 軸と平行に矢板の重心点を原点とする局所座標 $\tilde{x}$, $\tilde{y}$ を導入すると,

$$\tilde{y} = m_0 x + l_0 y \quad (5.35)$$

であるから,

$$\int_{Ap} \tilde{y}^2 dAp = m_0^2 \int_{Ap} x^2 dAp + l_0^2 \int_{Ap} y^2 dAp \quad (5.36)$$

となる。

(c) 継手のせん断流

継手 i のせん断剛度を $(G_J)_i$ とすると、継手のせん断流は、式 (5.13) から

$$(q_s)_i = (G_J d\zeta)_i = -(G_J dY)_i \beta \quad (5.37)$$

となる。上式を用い井筒全体の継手剛度として

$$K_J = \sum_i (G_J dY)_i^2 \quad (5.38)$$

と表わすと、式 (5.26) の継手に関する項は

$$\sum_i (q_s dY)_i = -K_J \beta \quad (5.39)$$

となる。

(d) 底面地盤反力の合力

式 (5.21) に式 (5.14), (5.7) を代入し,

$$\left. \begin{aligned} k_H &= \sum_i (m_0^2 k_x + l_0^2 k_y)_i \\ K_V &= \sum_i (k_z)_i, \quad K_{VM} = \sum_i (k_z Y)_i \\ K_M &= \sum_i (k_z Y^2)_i \end{aligned} \right\} \quad (5.40)$$

と表わすと、地盤反力の合力と変位の関係式として

$$\left. \begin{aligned} pr_H &= k_H v_c, \quad pr_V = K_V w_c \\ &- K_{VM} (v_c' - \beta) \\ pr_M &= K_{VM} w_c - K_M (v_c' - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5.41)$$

また、式 (5.22) に式 (5.15) を代入すると、

$$\bar{q}_s = \bar{G} \bar{X} \beta \quad (5.42)$$

である。ここに $\bar{A}$ は内部土の断面積である。

(8) 変位表示のつり合い式

式 (5.26) に式 (5.33), (5.39), (5.41), (5.42) を代入すると、変位表示のつり合い式が次のように求まる。

$$\left\{ \begin{aligned} (EI_g v_c'')'' - (EI_g^* \beta'')'' + k_H v_c + \\ [K_{VM} w_c - K_M (v_c' - \beta)]' - P_H - M_i' = 0 \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} - (EA_g w_c')' + K_V w_c - K_{VM} (v_c' - \beta) - P_V = 0 \\ [EI_g^* (v_c' - \beta)']' + (K_J + \bar{G} \bar{X}) \beta + K_{VM} w_c \\ - K_M (v_c' - \beta) - M_i = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.43)$$

上式 (5.43) の第3式から継手のせん断剛度 K_J と内部土のせん断剛度 $\bar{G} \bar{A}$ は同一の効果を生むことがわかる。

与えられた幾何学的境界条件および式 (5.27) の変位表示した時の力学的境界条件のもとで上式を積分すればよいわけである。しかし上式は変位パラメーター v_c , w_c , β に関する連立微分方程式となっているので、これを一般的に扱うのは面倒な問題である。現行のケーソンの設計計算と同様に側面の鉛直方向のせん断地盤反力係数 K_z を期待せず、分布外力モーメント M_0 も作用しない場合には、

$$(K_z)_i = 0 \quad \text{より} \quad K_V = K_{VM} = K_M = 0$$

となるから、式 (5.43) は、

$$\left\{ \begin{aligned} (EI_g v_c'')'' - (EI_g^* \beta'')'' + k_H v_c - P_H = 0 \\ - (EA_g w_c')' - P_V = 0 \\ [EI_g^* (v_c' - \beta)']' + (K_J + \bar{G} \bar{X}) \beta = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.44)$$

となる。さらに、

$$I_g = \text{const.}, \quad I_g^* = \text{const.}, \quad k_H = \text{const.}$$

の条件のもとで、式 (5.44) から v_c を消去すると、

$$\left\{ \begin{aligned} E(I_g - I_g^*) \beta'''' - \frac{I_g}{I_g^*} (K_J + \bar{G} \bar{X}) \beta'' + k_H \beta'' \\ - \frac{k_H}{EI_g^*} (K_J + \bar{G} \bar{X}) \beta - P_H = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5.45)$$

となる。

(9) 矢板の断面力と井筒の断面力の関係

式 (5.33) から β を消去すると、

$$-E(I_g - I_g^*) v_c'' = M - M^* \quad (5.46)$$

を得る。式 (5.33) および上式を式 (5.30) に代入すると、矢板の断面力と井筒の断面力の関係が次のように求まる。

$$\left\{ \begin{aligned} (N_p)_i &= \left(\frac{N}{A_g} + \frac{M^*}{I_g^*} Y_i \right) (A_p)_i \\ (M_x)_i &= \frac{(m_0 I_{xp})_i}{I_g - I_g^*} (M - M^*) \\ (M_{yp})_i &= \frac{(l_0 I_{yp})_i}{I_g - I_g^*} (M - M^*) \end{aligned} \right\} \quad (5.47)$$

(10) 頂版と矢板の結合

構造物の基礎に用いられる矢板式基礎の頂版の厚みは、井筒の短径の1/2.5~1/4程度、矢板径の3~5倍程度のもが多い。比較的厚いので、ここでは頂版を剛体として扱う、したがって頂版の運動は図-5.8 に示すように、

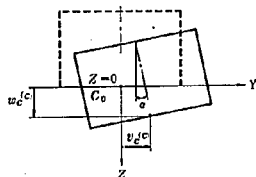


図-5.8 頂版の変位とそのパラメーター

頂版の下面とZ軸の交点C₀のY方向変位 v_c° とZ方向変位 w_c° および頂版の回転角 α で表わせる。頂版の任意点のX, Y, Z方向の変位を, u° , v° , w° と表わし、Z座標の原点を頂版下面にとると、

$$\left. \begin{aligned} u^\circ &= 0 \\ v^\circ &= v_c^\circ + Z\alpha \\ w^\circ &= w_c^\circ - Y\alpha \end{aligned} \right\} \quad (5.48)$$

である。頂版下面における矢板の局所座標 x , y 方向の変位を、それぞれ $(\xi^\circ)_i$, $(\eta^\circ)_i$ と表わすと、式(5.7)と同様に

$$\left. \begin{aligned} (\xi^\circ)_i &= (m_o)_i \quad v_z^\circ = (m_o)_i \quad v_c^\circ \\ (\eta^\circ)_i &= (l_o)_i \quad v_z^\circ = (l_o)_i \quad v_c^\circ \end{aligned} \right\} \quad (5.49)$$

である。

頂版と矢板の結合は、頂版の下面に矢板の重心が結合されて相対変位差は無いと考えると、式(5.49)と(5.7)、式(5.50)と(5.7)をそれぞれ比較し、

$$\left. \begin{aligned} v_c(Z=0) &= v_c^\circ \\ w_c(Z=0) &= w_c^\circ \\ v_c'(Z=0) - \beta(Z=0) &= \alpha \end{aligned} \right\} \quad (5.50)$$

となる。ここでは、矢板の変位は全て $Z=0$ での値しか用いないので今後は、 $(Z=0)$ を省略して表わす。頂版下面の x , y 軸まわりの回転をそれぞれ、 $(\alpha_x^\circ)_i$, $(\alpha_y^\circ)_i$ とすると、

$$\left. \begin{aligned} (\alpha_x^\circ)_i &= \frac{\partial w^\circ}{\partial x} = -(m_o)_i \alpha \\ (\alpha_y^\circ)_i &= \frac{\partial w^\circ}{\partial y} = -(l_o)_i \alpha \end{aligned} \right\} \quad (5.51)$$

となる。これに対し、矢板断面の回転は、式(5.8)から、

$$\left. \begin{aligned} (\alpha_x)_i &= \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_i = -\xi_o' \\ (\alpha_y)_i &= \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_i = -\eta_o' \end{aligned} \right\} \quad (5.52)$$

表-5.1 E_o と α との関係

次の試験方法による変形係数 E_o (kg/cm^2)	α	
	常 時	地震時
直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の繰り返し曲線から求めた変形係数の平均値	1	2
ボーリング孔内で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸または三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験のN値より $E_o=28N$ で推定した変形係数	1	2

である。頂版と矢板間の相対的回転角は、式(5.7)を上式に代入し、式(5.51)と差をとることによって、

$$\left. \begin{aligned} (\Delta \alpha_x)_i &= (\alpha_x^\circ)_i - (\alpha_x)_i \\ &= (m_o)_i (-\alpha + v_o') = (m_o)_i \beta \\ (\Delta \alpha_y)_i &= (\alpha_y^\circ)_i - (\alpha_y)_i \\ &= (l_o)_i (-\alpha + v_o') = (l_o)_i \beta \end{aligned} \right\} \quad (5.53)$$

となる。

(II) 有限要素法の適用

以上基本式の誘導を行ってきたが、これらを連立微分方程式(式(5.43))として解くのはかなり面倒となる。ここで示した基本仮定、基本式を有限要素法の中へ取り込み、数値的に解く方が容易と考えられる。適用の方法については参考文献5)にふれているので、ここでは省略する。

(4) 地盤バネ定数

(1) 水平方向地盤反力係数

$$k_{H1} = k_{H0} \left(\frac{B}{30} \right)^{-\frac{3}{4}} = 12.8 k_{H0} B^{-\frac{3}{4}} \quad (5.54)$$

ここに

k_{H1} : 水平方向地盤反力係数 (kg/cm^2)

k_{H0} : 直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向の地盤反力係数 (kg/cm^2) で、側面の分担分20%を含めて次式で表わされる。

$$k_{H0} = \frac{1.2}{30} \alpha E_o = 0.040 \alpha E_o \quad (5.55)$$

B : 載荷幅 (cm)

E_o : 表-5.1に示す方法で測定または推定した設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kg/cm^2)

α : 常時、地震時に用いる係数を表-5.1に示す。

(2) 鉛直方向地盤反力係数

(a) ケーソン指針を適用する場合

$$K_{v1}, K_{v2} = K_{v0} \left(\frac{B_v}{30} \right)^{-\frac{3}{4}} = 12.8 K_{v0} B_v^{-\frac{3}{4}} \quad (5.56)$$

K_{v1} : 井筒底部の鉛直方向地盤反力係数 (kg/cm^2)

K_{v2} : 脚先端の鉛直方向地盤反力係数 (kg/cm^2)

K_{v0} : 直径30cmの剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向の地盤反力係数 (kg/cm^2) で次式により求める。

$$K_{v0} = \frac{1}{30} \alpha E_0 = 0.033 \alpha E_0 \quad (5.57)$$

B_v : 基礎の換算荷重幅 (cm) で次式により求める。

$$B_v = \sqrt{A_v} \quad (5.58)$$

E_0 : 表-5.1 に示す方法で測定または推定した設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kg/cm^2)

A_v : 矢板式基礎の外周と内周とによって囲まれる底面積 (cm^2)

ケーソンでは、一般に鉛直方向の周面摩擦を無視するが、矢板式基礎は矢板を打ち込むので、それを考慮するのは可能である。ケーソンにおいて、水平方向の側面の分担分として水平方向地盤反力係数の20%をとっている。この場合においても便宜的に水平方向地盤反力係数の20%を鉛直方向の周面摩擦係数として考慮してもよいと思われる。

(b) くい指針を適用する場合

くい基礎においては、くい間の最小間隔が2.5D以上であれば、くい相互の群ぐい効率を無視して差し支えないとしている。一方、矢板式基礎においては、周方向に矢板が連続的に打ち込まれており、継手があるとしても矢板間の距離は1.0Dより少し大きい程度である。しかし、周に直角方向は矢板間の距離が非常に大きいので、群ぐいの効果はそれ程大きくないと考えられる。

群ぐい効果を無視した矢板1本当りの底面の鉛直バネ定数 K_{vp} を「くい基礎の設計指針」から求めることもできる。上記指針の (3.8) 式からくいの鉛直方向バネ定数は次のようになる。

$$(K_{vp})_{\text{くい}} = a \cdot \frac{A_p E_p}{l} \quad (5.59)$$

$$a = 0.027 (\ell/D) + 0.2 \quad (5.60)$$

ただし $\ell/D \geq 10$

ここに、

$(K_{vp})_{\text{くい}}$: くいの鉛直方向バネ定数 ($l/m \cdot \text{本}$)

A_p : くいの純断面積 (m^2)

E_p : くいのヤング率 (l/m^2)

ℓ : くいの長 (m)

D : くいの径 (m)

一方、くいの指針の式 (3.7) から次のようになる。

$$a = \frac{\lambda \tan \lambda \ell + \tau}{\tau \tanh \lambda \ell + \lambda} \cdot \lambda \cdot 10^{-1} \quad (5.61)$$

$$\tau = \frac{A_p \cdot k_g \cdot l}{A_p \cdot E_p} \quad (5.62)$$

$$\lambda = l \sqrt{\frac{C_g U}{A_p \cdot E_p}} \quad (5.63)$$

ここに、

A_l : くいの先端閉塞面積 (m^2)

U : くいの周長 (m)

k_g : くいの先端地盤の鉛直方向地盤反力係数 (l/m^2)

C_g : くいと周面地盤のすべり係数 (l/m^2)

ここでくいと周面地盤のすべり係数 C_g を

水平方向地盤反力係数 k_H (式 (5.54)) から

次のように推定できるとする。

$$C_g = a \cdot k_H \times 10^3 \quad (l/m^2) \quad (5.64)$$

但し、 $a = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{5}$, k_H (l/m^2)

式 (5.64) を用いて矢板一本の鉛直方向分布バネ係数 (周面摩擦係数) k_{vp} は次のようになる。

$$k_{vp} = C_g U \quad (l/m^2 \cdot \text{本}) \quad (5.65)$$

一方、矢板一本の先端の鉛直方向バネ定数 K_{vp} ($l/m \cdot \text{本}$) は次のように定義される。

$$K_{vp} = A_l \cdot k_g \quad (l/m \cdot \text{本}) \quad (5.66)$$

式 (5.65) を式 (5.62) に代入して λ を求め、式 (5.60)

と式 (5.61) から a を消去し、それらの式から式 (5.62)

の γ が求められる。式 (5.62) と式 (5.66) からは K_{vp} が求められる。

(3) 矢板先端の水平方向せん断バネ係数

ケーソン指針によると次のようになる。

$$K_g = \lambda \cdot K_v = \lambda \frac{K_{vp}}{\ell} \quad (5.67)$$

K_g : 井筒底面のせん断バネ係数 (l/m)

λ : $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{5}$

これをそのまま矢板式基礎に対しても用いるとする。

(4) 井筒内地盤の水平方向地盤反力係数

井筒内地盤の水平方向地盤反力係数とは背面矢板の水平方向地盤反力係数 k_{Hv} に反映するものである。この場合の k_{Hv} は (井筒径 / 根入れ長) と地盤条件等に左右されるとされる。しかし、井筒内部土の内部摩擦角 $\phi \approx 30^\circ$ 程度を想定して、便宜的に前面地盤の水平方向地盤反

力係数 k_{H1} に対する比として与えるようにした。図-5.9による k_{H1} の決定法はそれほど根拠のある方法とはいえないが、他に適当な方法がないのが現状である。

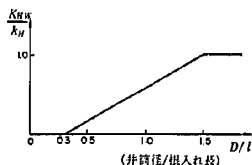


図-5.9 井筒内地盤の水平方向地盤反力係数

(5) 各種計算法による計算値と実測値との比較

矢板式基礎に適用可能な計算法として、基礎研究室で開発した三次元有限要素解析、この章で示した計算法、弾性床上の梁の式、及び現行法等がある。これらの計算法において最も精度のよい解を与えるのが第一の方法である。しかし、地盤や樁手等に関する条件を決めるのがむづかしく、また、解析も複雑かつ計算時間を多く要するのが欠点である。特殊な規模のもの、あるいは設計法のチェック等に用いることが望ましい。第2の方法は実用的な計算法として最も適した方法である。第3、第4の方法を用いる場合かなり適用範囲を制約して用いる必要があると思われる。他に考えられる方法としてはくい計算に用いられるものがある。樁手剛性を無視する場合には有用な方法である。しかし第2の方法は樁手剛性をゼロとすればくい計算法に一致するのでそれを包含している。

(1) 各種計算法による比較

石狩大橋、衣浦大橋を例として各種計算法の比較を試みた。地盤バネ定数等の計算条件はすべて等しくしてある。変形については、計算法の違いよりも地盤バネ定数による違いの方が大きいので比較を省略した。図-5.10には石狩大橋の例が、図-5.11には衣浦大橋の例が各々示してある。この結果から、棒理論（弾性床上の梁の式）と現行法（矢板式基礎の設計施工指針、矢板式基礎研究委員会）は他の方法と応力分布形状が大きく異なることがわかる。石狩大橋は井筒径が15m、根入れ長が20m程度であり、一方衣浦大橋は井筒径が9m、根入れ長が21m程度である。この程度の規模では現行法による値は安全側といえる。

(2) 実測値と計算値との比較

川崎製鉄水島製鉄所雨天岸壁に用いられた立ち上がり式の矢板式基礎の実測値と計算値を比較してみた。計算値は矢板式基礎の解析用の三次元有限要素プログラム、

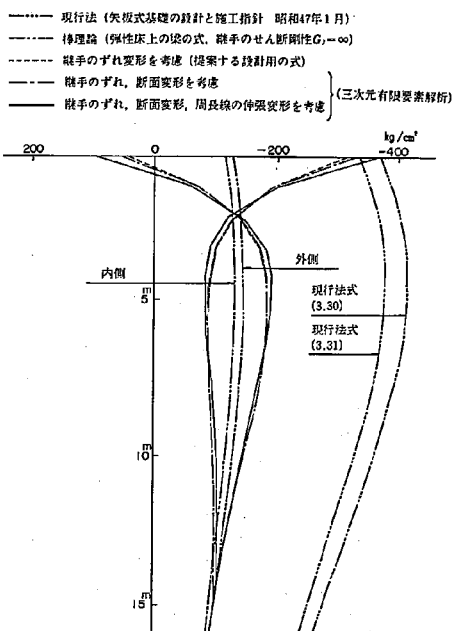


図-5.10 最前列矢板の応力分布（石狩大橋）

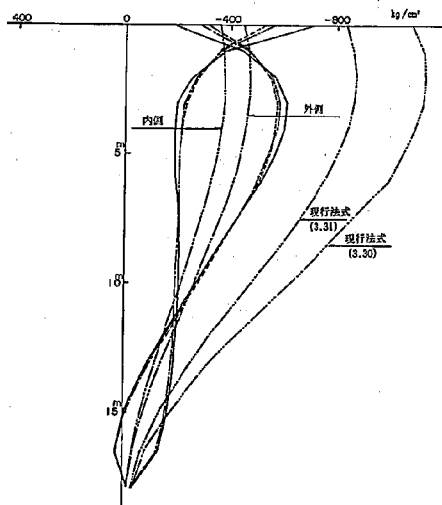


図-5.11 最前列矢板の応力分布（衣浦大橋）

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

(図-5.10)における継手のずれ、井筒の断面変形、井筒周長線の伸張変形を考慮した方法で、前述した第1の方法にあたる)から求めたものである。その比較例は図-5.12に示してあるが、計算値は実測値をよくとらえているといえる。

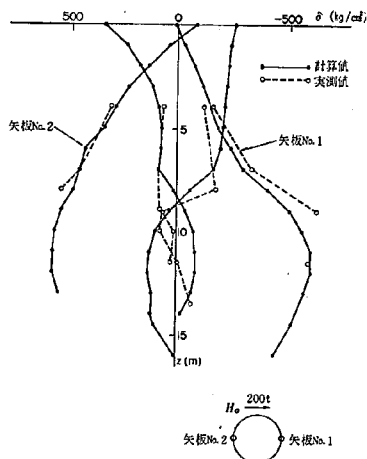


図-5.12 計算値と実測値による応力分布の比較
(川崎製鉄所雨天岸壁)

一方、首都高速道路公団で行なわれた実物現場実験との比較も行なった。図-5.13に計算モデル及び地盤モデルを示してある。比較はこの章で示した計算法(継手のずれ変形を考慮した方法)で継手のせん断剛性を有限にした場合とゼロにした場合(くい基礎の計算法にあたる)及び上記の第1の方法(三次元有限要素解析)である。図-5.14に深さ方向の直応力分布の比較をしてある。また同様に、図-5.15に井筒断面の直応力分布、図-5.16に継手のせん断流分布、図-5.17に矢板の水平変位を各示した。これらの実測値との対応から、この章で示す計算法は実用的に十分な精度で計算できることがわかる。

6. くい基礎計算法による設計手法の検討

[1] 概 説

矢板式基礎の力学的特性はくい基礎とケーソンの中間的なものであるといわれてきたが、土研で行なってきた実験、解析結果でもそれを裏付けている。一般に、個々の矢板を連結する継手のせん断抵抗が弱まるにつれて、くい基礎の挙動によく似たものとなる。逆にそのせん断抵抗が高まるにつれてケーソンの性状に似たものとなる。全体的な形状はケーソンと同一に近いが、矢板式基礎を構成する各矢板は、継手を無視すると一般の鋼くいと同一である。

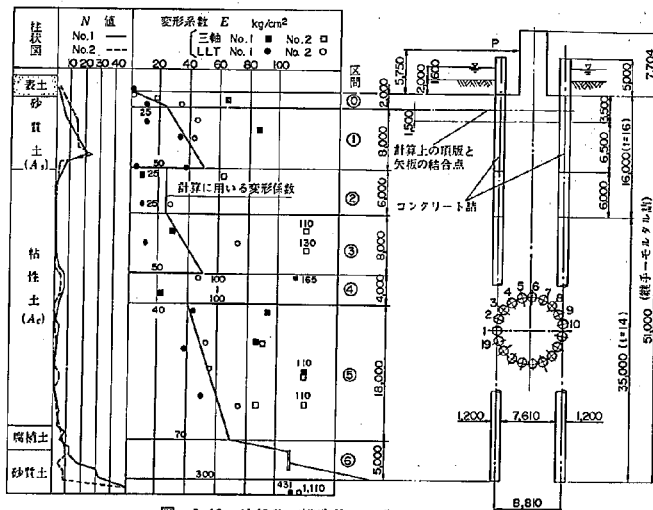


図-5.13 地盤及び構造体のモデル

しかし、矢板式基礎の解析は、くい基礎やケーソン基礎のように比較的簡単な数式で定式化するのは困難である。たとえ簡単な数式を用いて計算するにしても、得られた結果が十分な精度を持っているか否かを検討する必要がある。しかし研究上ならともかく、実用的な設計においては、比較的簡単な数式で計算できることが望ましい。そこで、くい基礎の計算手法を用いて、矢板式基礎

の設計諸量についてくい基礎と矢板式基礎とのインターアクションカーブを作成した。また、これを用いてくい基礎からみた矢板式基礎の特性を考察した。

インターアクションカーブを作成するための数値計算には、第5章で示した計算法を用いた。この設計計算プログラムでは、継手のせん断剛性 $G_J = 0$ とした場合を基準のくい基礎の計算値とする。

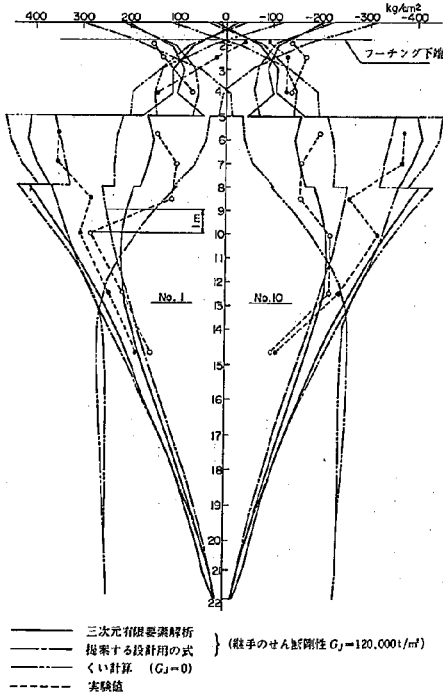


図-5.14 矢板の応力分布

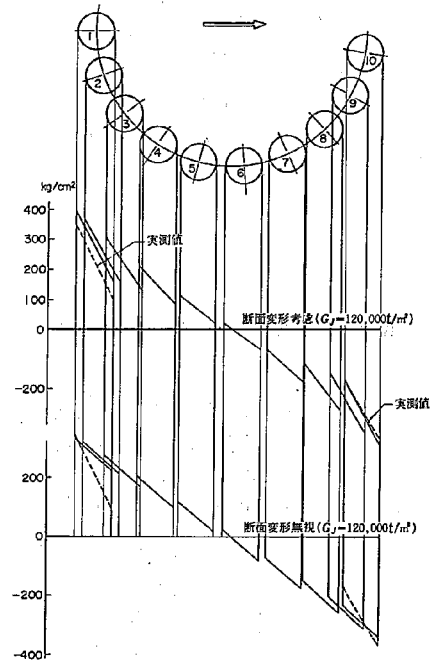


図-5.15 井筒断面上の直応力分布 (Point 7断面)

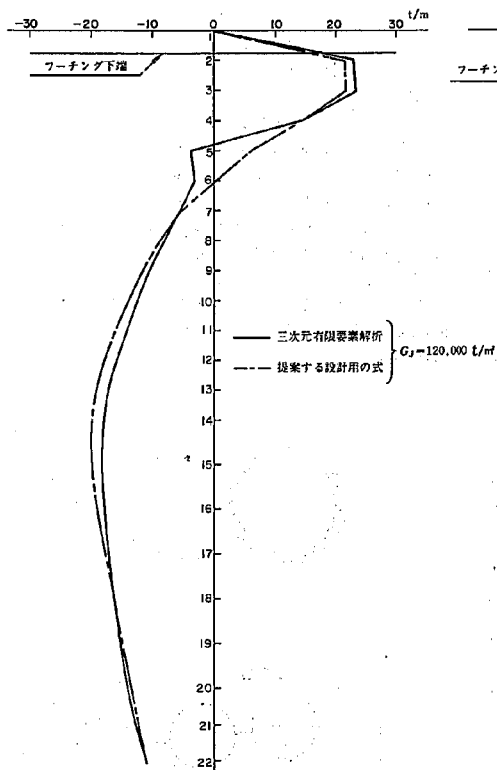


図-5.16 継手のせん断流 (No.5.6間の継手)

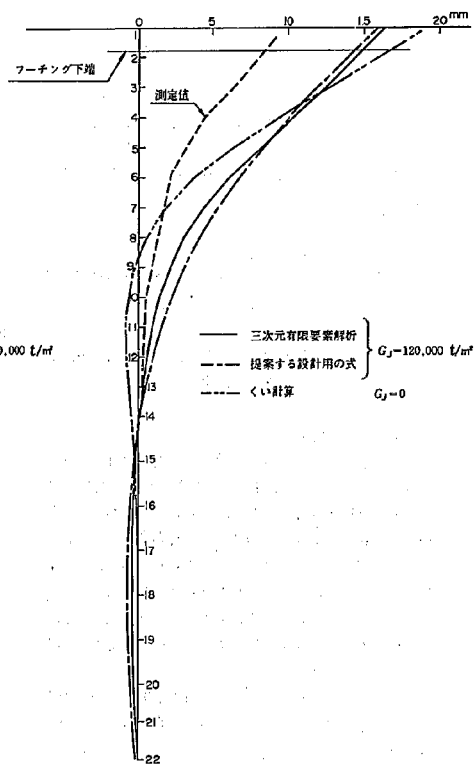


図-5.17 No.1 矢板の水平変位

(2) くい基礎の計算法との対応

ここで継手のせん断剛性 $G_J=0$ とした場合は、「くい基礎の設計指針」(日本道路協会)の4章にある計算法を用いても計算できる。ただし、本報告書の第5章の計算法では、継手鋼管を断面に算入しているため、矢板の断面主軸の向きが矢板ごとに変化する。それにつれて水平荷重方向の断面二次モーメントが各矢板ごとに異なるが、解析上の仮定で各矢板の水平の変形は同じとしているので、くい基礎の計算法を多少修正して用いる必要がある。

以下に本計算における $G_J=0$ の場合の計算値をくい基礎の計算法を用いて計算する方法を示す。

(1) 矢板の断面二次モーメント

各矢板の断面二次モーメント I は全て等しいとして扱い、 I は次式より計算する。

$$I_p = \frac{I_g}{n_p} \quad (6.1)$$

ここに

$$I_g = \sum_{i=1}^{n_p} (m_o^2 I_{xp} + l_o^2 I_{yp})_i$$

n_p : 矢板本数

(2) 横方向地盤反力係数

くいの特性値の計算に用いる kD_o は次式により計算する。

$$\text{くいの特性値: } \beta = \sqrt{\frac{kD_o}{4EI}}$$

$$kD_o = \frac{b_o \cdot k_H}{n_p} \times 1.2 \quad (6.2)$$

ここに、

b_e : 水平地盤抵抗に対する井筒の荷重幅

k_H : 水平方向地盤反力係数

D_0 : 「くい基礎の設計篇」におけるくい径

本計算においては、水平方向地盤反力係数に関して、地盤を2層(図-6.4)に分けて計算しているが、井筒天端の諸量に関する限り、上層部の k_H を用いて計算してもよい。

(3) くい軸方向バネ定数

井筒外周と側面地盤間に鉛直方向のせん断地盤反力係数 k_x を仮定しており、隔壁部においては $k_x=0$ としている。

くい頭でのくい軸方向バネ定数は、5章の[4]の(2)(b)で示した手法を逆算することによって求める。

(4) くい基礎の計算法

以上で定めた数値を用いて「くい基礎の設計篇」(日本道路協会)の式(4.7)、(4.8)から井筒天端の変位とくい応力が計算される。ただし、これらの式における x 座標は本計算式(第5章)の Y 座標に対応する。また、くいの地中部の曲げモーメントは「くい基礎の設計篇」の5.2.3節に示されている式から計算される。しかし、このようにして求められたいくい応力は、本計算式で計算した矢板応力と一致せず次に示す補正を行なう必要がある。

(5) 矢板の応力

上記の方法で計算されたいくいの軸力と曲げモーメントを N_{p0} 、 M_{p0} と表わすと、井筒矢板 i の応力は次のように計算される。

$$\left. \begin{aligned} (N_p)_i &= \frac{\sum_i Y^2}{\sum_i (A_p \cdot Y^2)_i} \cdot (A_p)_i \cdot (N_{p0})_i \\ (M_{xp})_i &= \frac{(m_0 I_{xp})_i}{\sum_i (m_0^2 I_{xp} + l_0^2 I_{yp})_i} \cdot n_p \cdot M_{p0} \\ (M_{yp})_i &= \frac{(l_0 I_{yp})_i}{\sum_i (m_0^2 I_{xp} + l_0^2 I_{yp})_i} \cdot n_p \cdot M_{p0} \end{aligned} \right\} (6.6)$$

[3] インターアクションカーブ作成のための計算条件

(1) 井筒と矢板の断面

井筒は円形とし、隔壁が無い場合とある場合とを表6-1に示すように仮定する。

表-6.1 計算を行なう井筒径

	井 筒 径 Dm			
	10.024	15.036	20.048	30.072
隔壁がない場合	○	○	○	—
隔壁がある場合	—	○	○	○

矢板断面については次のようにする。

矢板本管 ϕ 1000×14

外壁 ϕ 216.3×12

継手管

隔壁 ϕ 165.2×12

腐蝕代 本管、継手管とも外周2mm

井筒断面については図-6.1(a)、図-6.1(b)に例示する。継手管には図-6.2に示すようにスリットが設けられているが、井筒の断面定数の計算においてはこのスリットによる断面欠損は無視する。その代わり継手内に注入されるモルタルは断面計算に算入しない。

隔壁と外壁の結合部の矢板(図-6.3)には継手管が3本付くが、井筒の断面定数の計算において隔壁側の継手管は無視する。

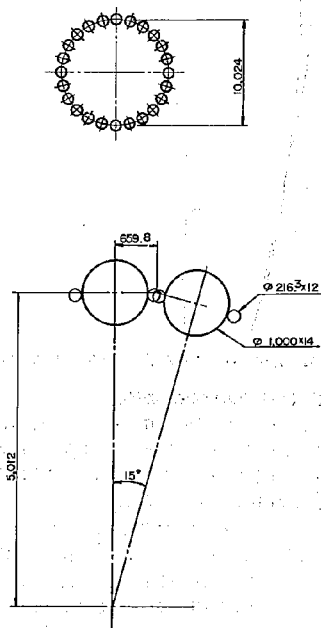


図-6.1 (a) 井筒断面の例

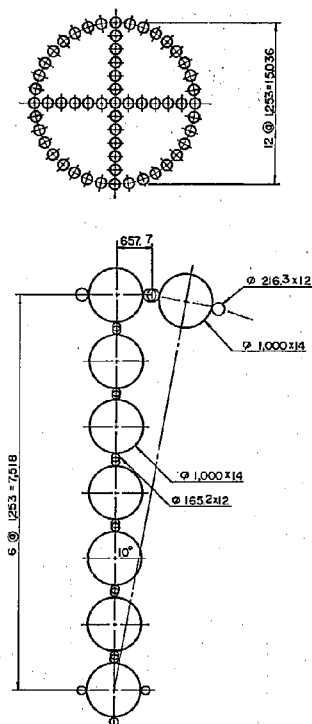


図-6.1 (b) 井筒断面の例

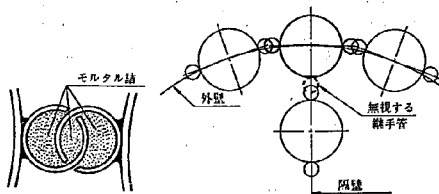


図-6.2 継手構造

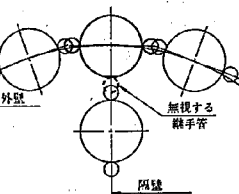


図-6.3 隔壁と外壁の結合部

(2) 設計地盤面と井筒の根入れ

図-6.4 に井筒の根入れと地盤について示すが、これらについて次のような仮定を設ける。

- (I) 耐震設計地盤面は頂版下面位置と仮定する。
- (II) 井筒の根入れ長さ L は耐震設計地盤面から計り、 $L=10, 20, 30, 50$ m の 4 種とする。
- (III) 矢板の支持層への根入れ長さは 3 m とする。

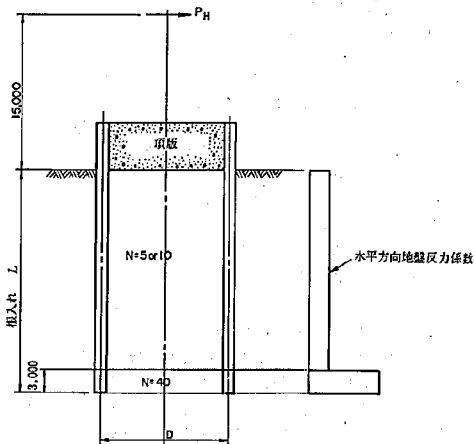


図-6.4 井筒の根入れと地盤

(3) 井筒周囲の地盤反力係数

(a) 水平方向地盤反力係数 k_H

井筒の断面変形を無視した解析においては、井筒の外周方向（円周方向）に沿っての地盤反力係数の強度変化は問題とされない。そこで 5 章の (4) の (1) で示すように「ケーソン基礎の設計篇」（日本道路協会）と同じく地盤の水平抵抗は井筒前面の地盤反力度によって受け持たれると仮定する。上記指針を準用し地盤反力係数 k_H を算出するが、ここでは内部地盤の地盤反力係数については無視する。

k_H の算出に際し、載荷幅 B_H は井筒外形とする。すなわち、

$$B_H = D + d \quad (6.7)$$

D : 井筒径

d : 矢板径

また、「ケーソン基礎の設計篇」でいう「側面の分担分 20%」（井筒外周と地盤間での水平方向せん断抵抗）もケーソン基礎の場合と同様に扱う。

(b) 鉛直方向の周面摩擦係数 k_z

井筒外周と地盤間に鉛直方向のせん断抵抗を仮定する。ここでは、 k_z を

$$k_z = 0.2 k_H \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (6.8)$$

と仮定する。なお上記 k_H は前述の「側面の分担分 20%」を含まないものとする。また、この鉛直方向の周面摩擦係数 k_z は図-6.5 において点線で示した井筒外周面に作用すると仮定する。

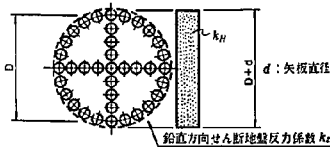


図-6.5 井筒外周の地盤反力係数

(4) 地盤の N 値

地盤反力係数は N 値から推定するが、その N 値は次の2種とする。(図-6.4参照)

上部層 $N=5$ または10
支持層 $N=40$

(5) 井筒底面の地盤反力係数

5章(4)(X2)で示したように、井筒底面の地盤反力係数は「ケーソン基礎の設計篇」(日本道路協会)によるものと、「くい基礎の設計篇」(日本道路協会)によるものの2種で検討する。いずれの場合も支持層の N 値は40とする。

(a) 「ケーソン基礎の設計篇」による方法

底面の支持面積 A_0 として図-6.6に示すように、矢板の縁を結んだ線で囲まれる面積を用いる。

(b) 「くい基礎の設計篇」による方法

矢板式基礎の計算においては、くい頭位置で評価した

表-6.2 継手のせん断剛性のケース

ケース番号	$\bar{G}_j$ t/m
1	0
2	10000
3	30000
4	60000
5	120000

表-6.4 各インターアクションカーブのための条件

		計 算 条 件								
		継手のせん断 剛性 G_j 5 種 類	隔 壁 の 有 無		K_r 値の算定法		側方地盤の N 値		井筒径 D	挿入長さ L
			無	有	くい	ケーソン	5	10		
インターアクションカーブ	A	$G_j=0, 1, 3, 6, 12 \times 10^4 \text{ t/m}$	○		○		○		$D=10, 20\text{m}$	$L=20\text{m}$
	B	〃	○			○	○		$D=15\text{m}$	〃
	C	〃	○		○		○		〃	$L=10, 20, 30, 50\text{m}$
	D	〃	○		○			○	$D=15$	〃
	E	〃		○	○		○		$D=15, 20, 30\text{m}$	$L=20\text{m}$
	F	〃		○		○	○		〃	〃
	G	〃		○	○		○		$D=20\text{m}$	$L=10, 20, 30, 50\text{m}$
	H	〃		○	○			○	$D=20\text{m}$	〃

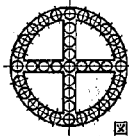


図-6.6 底面支持面積

鉛直方向バネ定数をそのまま用いることができない。中間部の摩擦バネ(矢板自身のバネも含む)と矢板先端のバネに分離して取り扱う必要がある。摩擦バネについては(6.8)式で仮定した周面摩擦係数 k_2 から計算される。この値を用いて、5章(4)(2)(b)で示した方法によって、矢板先端のバネが計算される。

この結果、矢板一本の先端の鉛直方向バネ係数 K_{vp} (t/m・本)が計算されるが、根入れ長さが大きいと、 K_{vp} として負の値が計算される場合がある。この場合は、 $K_{vp}=0$

表-6.3 計算条件のまとめ

種		別	備 考
井筒 径 D m	隔壁 無し	① 10.024	
		② 15.035	
		③ 20.048	
	隔壁 有り	① 15.035	
		② 20.048	
		③ 30.072	
井筒の根入れ L m	① 10.0		
	② 20.0		
	③ 30.0		
	④ 50.0		
井筒外周の地盤バネ	① N 値=5	ケーソン基礎の設計篇 $E_n=28N$ $\alpha=2$ (地震時)	
	② N 値=10		
井筒底面の地盤バネ	① ケーソン基礎の設計篇による場合	N 値=40	
	② くい基礎の設計篇による場合		
継手のせん断剛度 G_j t/m	① 0.		
	② 10.000		
	③ 30.000	$\phi 165.2 \times 7.1$ の継手管の値 (基準値)	
	④ 60.000		
	⑤		
	⑥ 120.000		

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

となり、矢板式基礎は無限長のくいとみなすことができる。矢板先端の軸力による底面地盤反力が、底面地盤の許容支持力度を越えるか否かについて検討する必要がない。 $(K_{1P} = 0$ より矢板先端の軸力は0となる) $K_{1P} < 0$ の場合は上記の検討を必要とする。一般に、矢板式基礎の剛性はいく基礎に比べて大きいため、ケーソンの場合のような大きな底面地盤反力が発生する。

(6) 井筒底面のせん断係数

井筒先端の水平せん断係数は、鉛直バネの1/3.5倍とした。

(7) 継手のせん断剛性 G_j

(a) 継手のせん断剛性とその基準値

$\phi 165.2 \times 7.1$ の継手管を用いた継手(図-6.2)のせん断剛性を基準値とし、他の継手管を用いる場合は継手のせん断剛性が継手管の内径に比例すると仮定する。

(b) 継手のせん断剛性のケース

表-6.2に示す継手のせん断剛性で計算を行なう。

(8) 荷重

荷重状態としては、図-6.4に示すように頂版下面から15m上に水平力が作用している状態を想定する。

(9) 計算条件のまとめ

井筒断面、根入れ長、地盤バネ定数、および継手のせん断剛性の種類をまとめると表-6.3のようになる。

【4】くい基礎と矢板式基礎とのインターアクションカーブ

(1) インターアクションカーブの諸量

インターアクションカーブの対象とした諸量は、矢板天端、矢板中間(最大曲げモーメント発生点)の曲げモーメント、矢板天端、矢板先端の軸力、頂版の水平変位と回転角の6つである。計算条件によって8種類のインターアクションカーブを作成した。いずれの場合も横軸に継手のせん断剛性、縦軸に矢板式基礎とくい基礎の比をとった。

(2) インターアクションカーブ

表-6.4に示すように隔壁の有無、 K_1 値の算定法(くいとケーソン)側方地盤の N 値(5と10)井筒径(一定と3種類仮定した場合)根入れ長(一定と4種類仮定した場合)の相違によって、図-6.7~図-6.14に示す8種類のインターアクションカーブを作成した。図-6.8、図-6.9の矢板の曲げモーメントに関するインターアクションカーブは、若干特異な形状となっている。この場合

は曲げモーメント自身の値も小さく、矢板天端と中間部の曲げモーメント分布の割合が微妙に変化したためと考えられる。

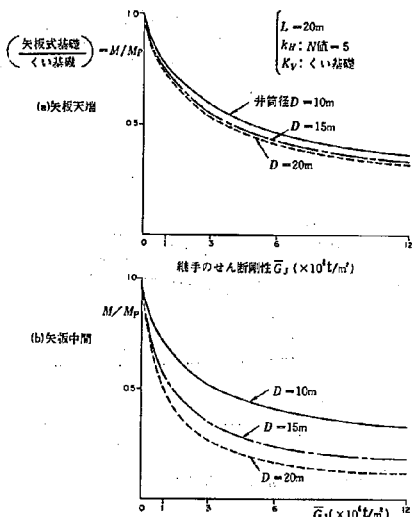


図-6.7 (1) 矢板の曲げモーメント(ケースA)

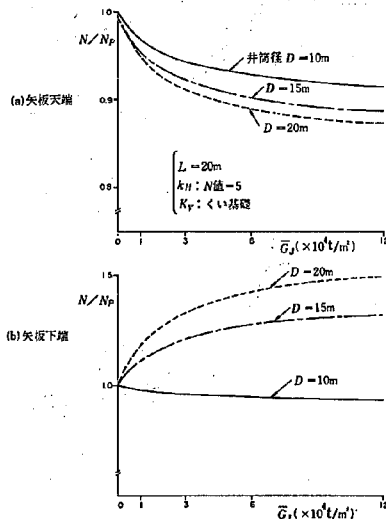


図-6.7 (2) 矢板の軸力(ケースA)

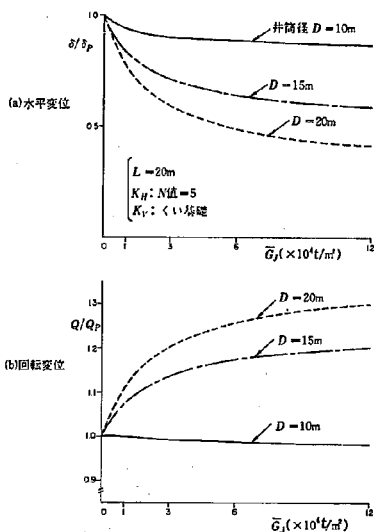


図-6.7 (3) 頂版の変位 (ケースA)

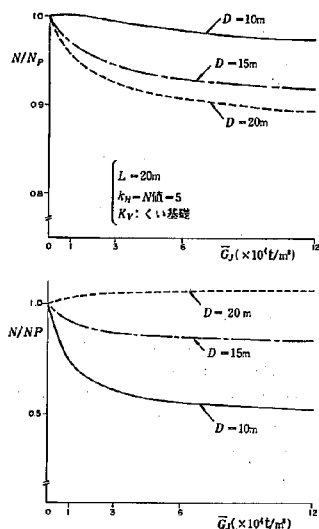


図-6.8 (2) 矢板の軸力 (ケースB)

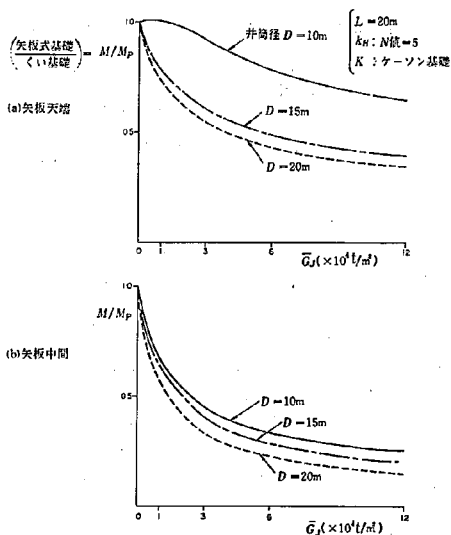


図-6.8 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースB)

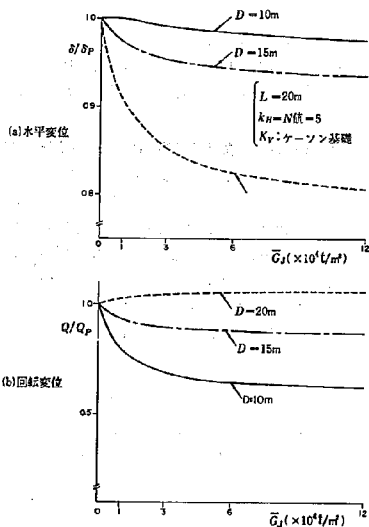


図-6.8 (3) 頂版の変位 (ケースB)

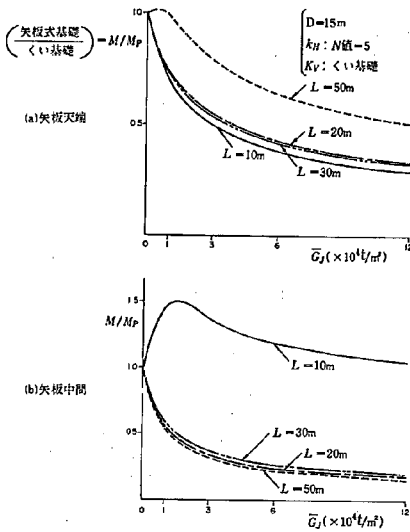


図-6.9 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースC)

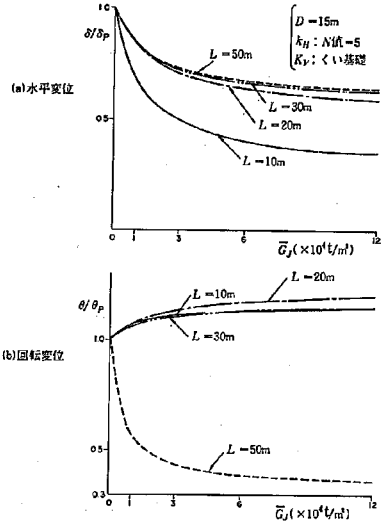


図-6.9 (3) 頂端の変位 (ケースC)

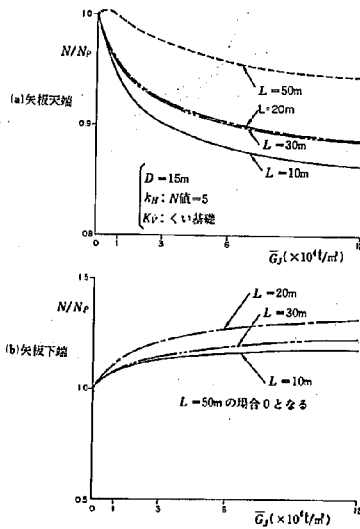


図-6.9 (2) 矢板の軸力 (ケースC)

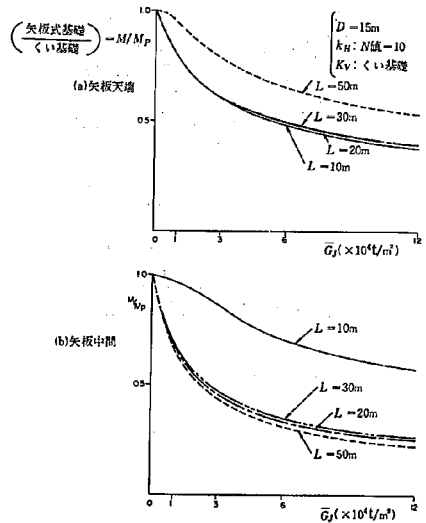


図-6.10 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースD)

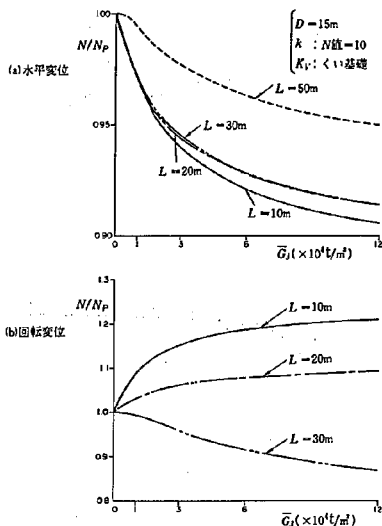


図-6.10 (2) 矢板の軸力 (ケースD)

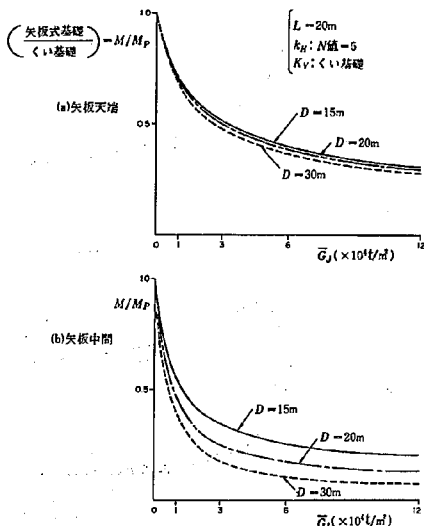


図-6.11 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースE)

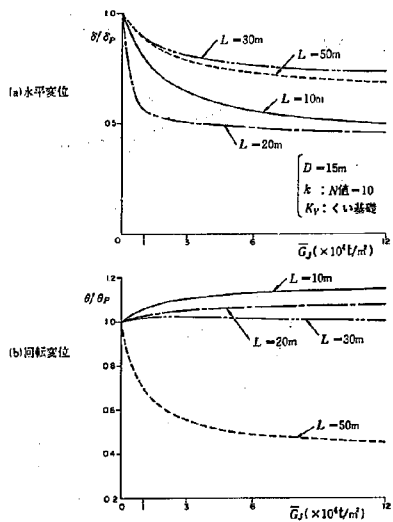


図-6.10 (3) 頂版の変位 (ケースD)

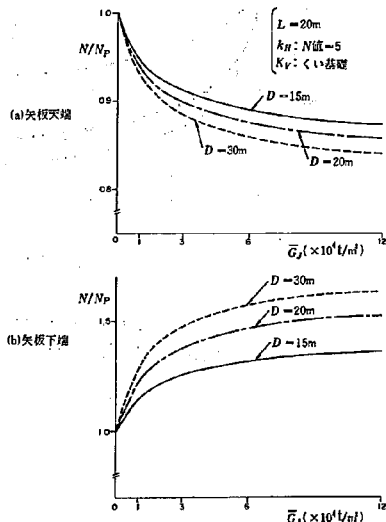


図-6.11 (2) 矢板の軸力 (ケースE)

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

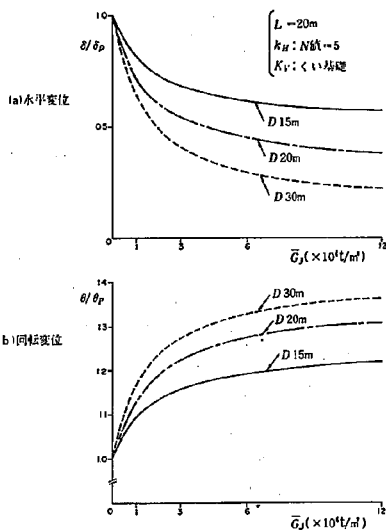


図-6.11 (3) 頂版の変位 (ケースE)

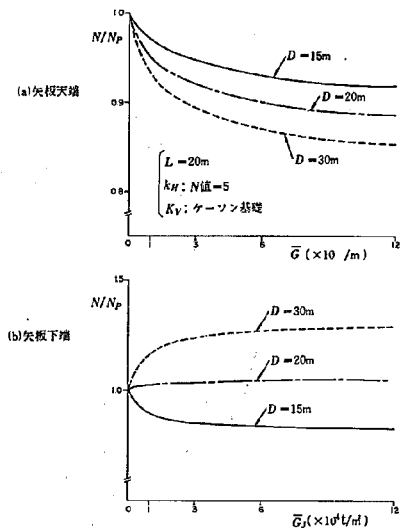


図-6.12 (2) 矢板の軸力 (ケースF)

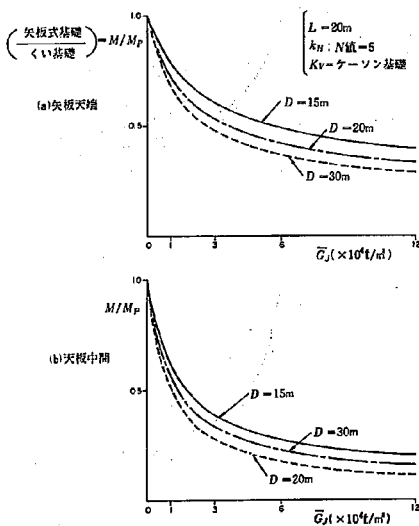


図-6.12 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースF)

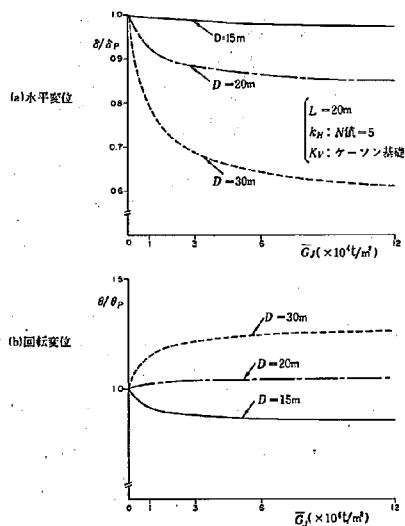


図-6.12 (3) 頂版の変位 (ケースF)

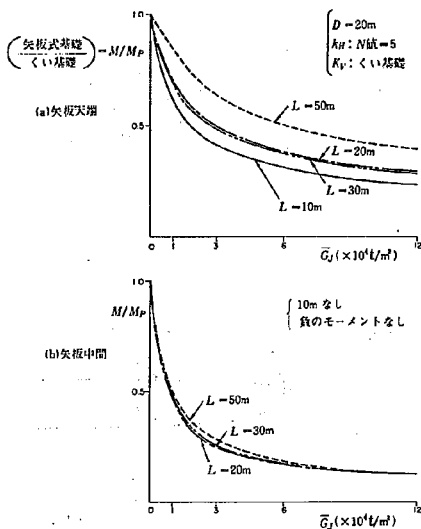


図-6.13 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースG)

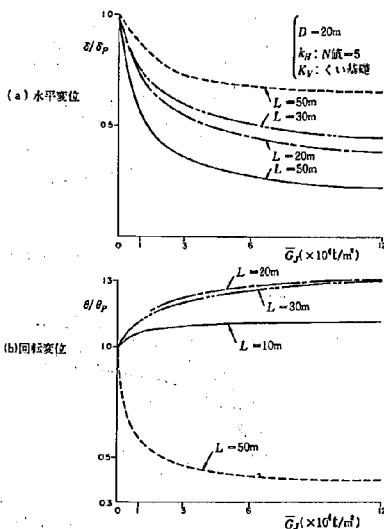


図-6.13 (3) 頂版の変位 (ケースG)

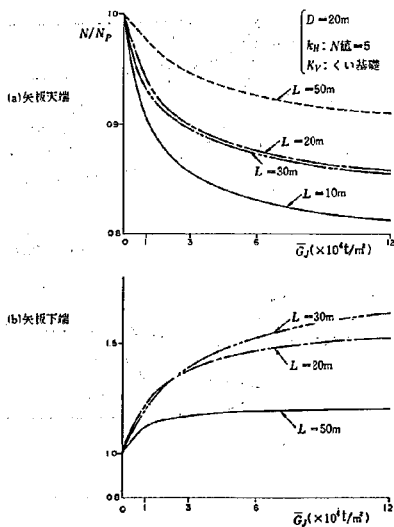


図-6.13 (2) 矢板の軸力 (ケースG)

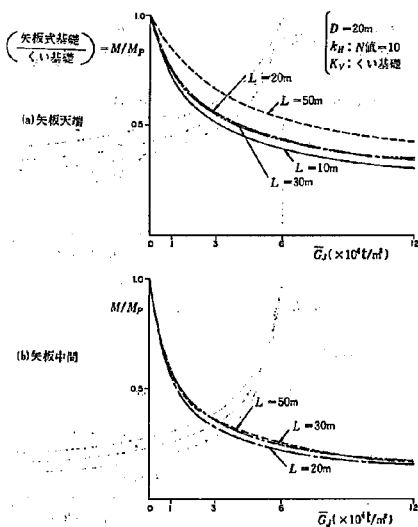


図-6.14 (1) 矢板の曲げモーメント (ケースH)

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

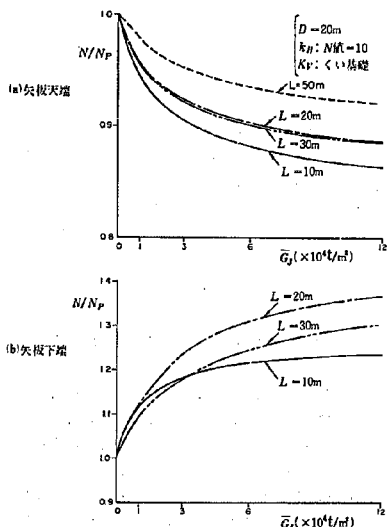


図-6.14 (2) 矢板の軸力 (ケース H)

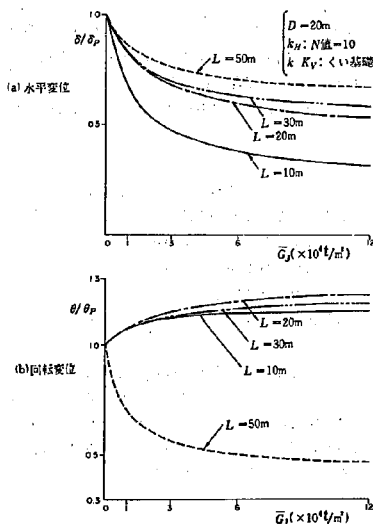


図-6.14 (3) 頂版の変位 (ケース G)

(3) くい基礎からみた矢板式基礎の特性

これらのインターアクションカーブから、くい基礎からみた矢板式基礎の特性について要約すると以下のようになる。

(a) 矢板の曲げモーメントについて

- (i) 同一の継手のせん断剛性においては、井筒径が大きくなる程、矢板式基礎の値は低下する。
- (ii) 隔壁の有無において、隔壁の有る方がくい基礎に対する矢板式基礎の曲げモーメント比は小さくなる。
- (iii) 根入れ長の相違とくい基礎に対する矢板式基礎の曲げモーメント比の間には一義的な関係がない。
- (iv) 側方地盤の相違の影響は非常に小さい。
- (v) K_p 値をケーソン基礎の手法から算定すると、特異なカーブになる場合がある。

(b) 矢板の軸力について

- (i) くい基礎に比べて矢板式基礎の矢板天端の軸力は小さい。
- (ii) 矢板下端の軸力は、矢板式基礎の場合の方が大きい。これはケーソン基礎の傾向と同じである。すなわち躯体の剛性が高くなると、底面反力が大きくなる。

(c) 頂版の変位について

- (i) 頂版の水平変位は、井筒径が大きくなると、くい基礎の場合に比べて非常に小さくなる傾向がある。
- (ii) 一般に、継手のせん断剛性 G_j が大きくなると、くい基礎に対して矢板式基礎の頂版の水平変位が低下する。しかも、比較的小さな G_j の範囲 ($G_j = 0 \sim 3 \times 10^4 \text{ t/m}$) ではその影響が大きい。
- (iii) 頂版の回転角は、くい基礎の場合に比べて大きな傾向がある。

7. 結 論

矢板式基礎に関する研究は、最近活発に行なわれてきているが、基礎形式自体が新しいこと、従来の基礎でみられない独特の構造的特徴を持つことなどから、まだ解明しなければならない問題が多い。

この新しい基礎構造の解明にあたり、既存のくい基礎やケーソン基礎の解析手法にとらわれず、矢板式基礎の構造的特徴および解析に必要な主要要因を分析し、それらをもとにして基本式を組み立てた。結果的には、本解析式が現行のくい基礎の計算法と矛盾せず、また、ケーソン基礎 (弾性体) の解析をも包含するものとして定式化することができた。

しかし、本解析式は基本的には6階の微分方程式となり、その一般解を求めるのは容易でない。実際の解を求めるには設計上の仮定と基本式を組み込んだ有限要素法の手法に頼らざるを得ない。その意味において、従来の設計法とかなり性格を異にし、基礎に関する技術者にとってなじみにくいものとなっている。

その対策として、くい基礎の手法を用いた矢板式基礎の設計について検討した。それが6章に示すくい基礎と矢板式基礎とのインターアクションカーブである。基本となる6つの設計諸量を取り上げ各種計算条件によって要因分析を試みたものである。それによって、矢板式基礎はどのような特徴を持つかを定性的あるいはかなりの面まで定量的に把握することができる。

しかし、5章の基本方針でも触れたように、継手のせん断剛性の評価、頂版と矢板の結合部の設計、頂版内の応力伝達問題、仮締切兼用工法における仮締切部の残留応力の評価、井筒内部土の挙動などを今後、さらに煮つめる必要がある。この外、大規模な矢板式基礎の設計を行なう場合、避けて通れない問題として井筒壁の断面変形の影響がある。

本研究において新しく解明した点および新しい考え方を導入した点について以下に要約する。

(1) 矢板間の継手のせん断剛性および耐力について実大矢板による実験、および模型実験によって定量的に求めた。ここで求めた値を現場施工と室内実験の違い、あるいは安全性を見込んで、半分程度にして実際の設計に用いることができる。

(2) 矢板式基礎の三次元解析を行ない、継手に発生するせん断力に及ぼす要因を調べた。その結果、継手のせん断剛性、矢板の肉厚等が大きな影響を与えることがわかった。このことから、実際の設計において強い継手を使用するのはもちろん有利であるが、矢板に中詰コンクリートを打設して(矢板の剛性を大きくする)、間接的に継手に働くせん断力を低減することが可能である。

(3) 頂版と矢板の結合に関する模型実験を実施して、頂版と矢板の応力伝達状況などについて検討した。また、頂版形式の違いによる耐力の差異について実験的に確認した。

(4) 矢板式基礎の構造特性を三次元解析により分析した。応力については、井筒の断面変形の影響により前面矢板に応力集中が起こることを確認した。また、矢板の応力に大きな影響を持つと思われる因子を抽出し、定量的

な判定ができるように矢板の応力との関係をグラフ化してまとめた。一般的にいえることは、矢板個々の応力分布形状はくい基礎の場合に非常によく似ていることである。

また、変形特性についても同様の分析を行なったが、短い矢板式基礎全体の変形はケーソンによく似た変形となることを確認した。頂版の水平変位の支配的な因子は側方地盤強度であることがわかった。

この結果、短い矢板式基礎における水平変位はケーソンの手法で推定してもそれ程問題とならない。また継手のせん断剛性を無視するなかりくい基礎の手法を用いて応力を計算することも可能である。

(5) (4)と同様の構造特性の分析を D/L (井筒径/根入長)および頂版と矢板の結合条件の違いに着目して実施した。一般に、頂版の水平変位は継手のせん断剛性が大きいと、頂版と矢板の結合条件(剛結、ピン結合)にあまり影響を受けない。しかし、継手のせん断剛性を0にした場合(くい基礎にあたる)、ピン結合の方が剛結に比べて1.5倍程度の頂版の水平変位となる。また、継手が十分な耐力を持つなら井筒径が大きくなる程、くい基礎に比べて矢板式基礎の応力は小さくなる傾向がある。

(6) 室内模型実験によって、井筒形状、根入長さ、および隔壁の有無等による耐力差、応力分布等の特性を分析した。この結果、隔壁は井筒の断面変形の阻止、水平耐力の向上に対して非常に効果があること、また井筒の断面形状の差異による耐力差はあまりないことなどがわかった。

(7) 矢板式基礎の設計あるいは解析を行なうための計算法を定式化した。この手法は各矢板が継手でせん断すれ変形を起こすことを仮定している。任意形状、隔壁を含めた矢板式基礎および他の深い基礎に対しても適用可能である。この計算法による解の妥当性を調べるため各種の現場実験値と比較したがそれらはよく適合した。

(8) くい基礎計算法による矢板式基礎の設計計算の検討を行なうため、基本の諸量についてインターアクションカーブを作成した。これらはいく基礎からみた矢板式基礎の特性の判断あるいは実際の設計でくい基礎計算法の値からの補正に用いることができる。

あとがき

この報告書は昭和48年度から4年余に渡って行なってきた矢板式基礎の一連の研究についてまとめたものである。

矢板式基礎の特性とその設計法に関する研究

る。ここに収録してあるデータの入手は多くの方々に協力していただいた。とくに、総プロ基礎工部会（昭和48年度～昭和51年度、国土開発技術研究センター）の鈴木部会長をはじめ他の委員諸氏、阪神公団の江見、前原両氏、川崎製鉄の品、行友両氏、鋼管杭協会の田中、大野両氏、新日本技研の佐々木、介方両氏、基礎研究室光家、千野、山本の諸氏に対してここに感謝の意を表したい。

（参考文献）

- 1) 矢板式基礎と水平力に対するその構造特性，土木研究所資料第1034号，1975
- 2) 矢板式基礎の頂版，仮締切部の設計，土木研究所資料第1045号，1975
- 3) 矢板式基礎の施工，土木研究所資料第1046号，1975
- 4) 矢板式基礎の継手強度試験，土木研究所資料第1047号，1975
- 5) 矢板式基礎の設計法，土木研究所資料第1175号，1977
- 6) 耐震技術に関する研究開発報告書，建設省土木研究所，国土開発技術研究センター，1974～1977
- 7) 矢板式基礎の模型実験報告書，阪神高速道路公団，鋼管杭協会，1976
- 8) 矢板式基礎の頂版結合部の模型実験報告書，阪神高速道路公団，鋼管杭協会，1977

記号一覧表

G_s : 継手のせん断剛性 t/m^2
 q_u : 継手のせん断耐力 t/m
 τ_{max} : 最大せん断応力度 kg/cm^2
 G_s^* : 設計用せん断剛性 t/m^2
 q_u^* : 設計用せん断耐力 t/m
 q : 継手の最大せん断流 t/m
 D : 矢板式基礎の井筒径 m
 L : 矢板の埋入れ長さ m
 X, Y, Z : 矢板式基礎の全体座標
 u : 仮想井筒の一般点の X 方向変位 m
 v : 仮想井筒の一般点の Y 方向変位 m
 w : 仮想井筒の一般点の Z 方向変位 m
 v_c : 井筒の断面重心点の Y 方向変位 m
 w_c : 井筒の断面重心点の Z 方向変位 m
 S : 仮想井筒の板厚中心線に沿う座標
 n : S に直交する座標
 ξ^* : S 方向変位成分 m
 η^* : n 方向変位成分 m
 ℓ^* : X 方向, S 方向の方向余弦
 m^* : Y 方向, S 方向の方向余弦

() i : 矢板 i に関する諸量
 x, y, z : 矢板 i 本に関する局所座標
 ℓ_x : X 方向 x 方向の方向余弦
 m_x : Y 方向 x 方向の方向余弦
 ξ : x 方向変位成分 m
 η : y 方向変位成分 m
 ζ : z 方向変位成分 m
 $(d\delta)_i$: 継手 i のずれ変位 m
 $(k_x)_i$: 矢板側面の地盤の x 方向地盤バネ t/m^3
 $(k_y)_i$: 矢板側面の地盤の y 方向地盤バネ t/m^3
 $(k_z)_i$: 矢板側面の地盤の z 方向地盤バネ t/m^3
 $(pr_x)_i$: 矢板の受ける地盤反力の x 方向成分 t/m^2
 $(pr_y)_i$: 矢板の受ける地盤反力の y 方向成分 t/m^2
 $(pr_z)_i$: 矢板の受ける地盤反力の z 方向成分 t/m^2
 $\bar{G}$: 井筒内部土のせん断剛性 t/m^2
 $(K_x)_i$: 矢板底面の地盤の x 方向地盤バネ t/m^3
 $(K_y)_i$: 矢板底面の地盤の y 方向地盤バネ t/m^3
 $(K_z)_i$: 矢板底面の地盤の z 方向地盤バネ t/m^3
 $(Pr_x)_i$: 矢板底面の地盤反力の x 方向成分 t/m^2
 $(Pr_y)_i$: 矢板底面の地盤反力の y 方向成分 t/m^2
 $(Pr_z)_i$: 矢板底面の地盤反力の z 方向成分 t/m^2
 $(\sigma_z)_i$: Z 方向応力度 t/m^2
 $(q_z)_i$: 継手のせん断流 t/m^2
 $(P_x)_i$: 矢板重心軸に作用する x 方向外力 t/m^2
 $(P_y)_i$: 矢板重心軸に作用する y 方向外力 t/m^2
 $(P_z)_i$: 矢板重心軸に作用する z 方向外力 t/m^2
 $(\bar{P}_x)_i$: 矢板の両端断面に分布作用する x 方向外力 t/m^2
 $(\bar{P}_y)_i$: 矢板の両端断面に分布作用する y 方向外力 t/m^2
 $(\bar{P}_z)_i$: 矢板の両端断面に分布作用する z 方向外力 t/m^2
 $\bar{P}_r$: 内部土の両端断面に分布作用する Y 方向外力 t/m^2
 ν_z : 井筒両端断面の外向き単位法線ベクトルの Z 方向成分
 E : 矢板材のヤング率 t/m^2
 A_g : 矢板式基礎の総断面積 m^2
 I_g^0 : 矢板自身の断面 2 次モーメント m^4
 I_g : 矢板式基礎の断面 2 次モーメント m^4
 $\bar{x}$: X 座標と平行な局所座標
 $\bar{y}$: Y 座標と平行な局所座標
 (α_x°) : 頂版下面の y 軸まわりの回転
 (α_y°) : 頂版下面の x 軸まわりの回転
 $(\alpha_x)_i$: 矢板断面の y 軸まわりの回転
 $(\alpha_y)_i$: 矢板断面の x 軸まわりの回転
 A_i : i の先端閉塞面積 m^2
 U : i の周長 m
 C_s : i のと周面地盤のすべり係数 t/m^3

（昭和53年1月30日原稿受理）