

交通施設整備の地域経済効果に関する研究

天野 光三

交通施設は、与えられた交通需要を処理するという受動的な機能だけではなく、長期的には自らの機能によって各地域の産業・都市機能を変化させてゆくという積極的な機能を有する。

したがって、将来の交通施設整備を効果的に行なうためにも、また望ましい地域構造誘導のために交通施設整備を戦略手段として効果的に用いるためにも、その長期的な効果測定方法が必要となる。

従来、種々の経済事象を分析するためには、産業連関表が広く用いられているが、これは一定年度の横断面分析を取扱っているため、上にのべた交通施設整備の経済効果を推定するには不適である。

本研究は、地域間産業連関表における交易係数、技術係数が交通施設整備により変化する要因を分析し、これを説明する数式モデルによって産業連関表を動的に発展させることを可能とした。そうしてこれを用いることにより、交通施設整備が地域経済におよぼすあらゆる効果を計量的、長期的に推定するための1つの計量経済モデルを提案した。そのシステムチャートを図-1に示す。

以下このモデルの要点についてのべる。

まず、交通施設整備の主な直接効果として、地域間の単位財当りの輸送マネーコスト $k m_i^{rs}$ 、輸送タイムコスト $k w_i^{rs}$ および交通容量 $k Q_0^{rs}$ の変化があげられる。

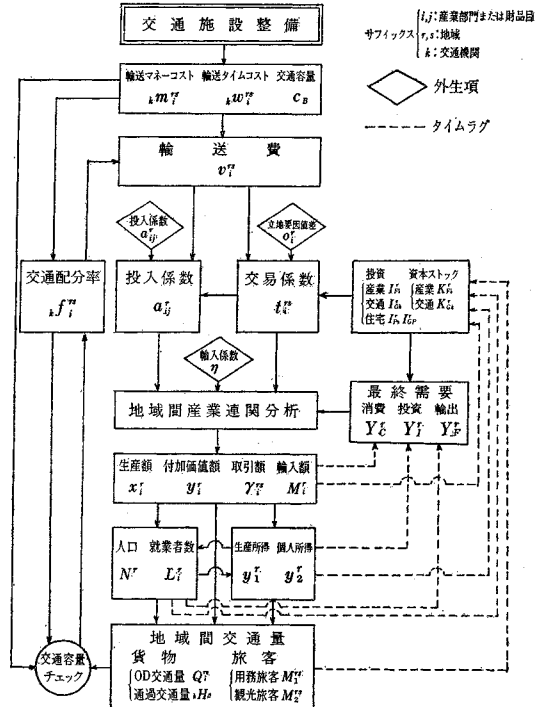
輸送マネーコスト、タイムコストが変化する場合、荷主または運送者は自分にとって最も望ましいと考える経路を選択しなおすことにより、交通配分率 $k f_i^{rs}$ が変化する。この変化は各経路の $k m_i^{rs}$ 、 $k w_i^{rs}$ により、次式の交通配分モデルで推定される。

$$k f_i^{rs} = \frac{1}{n} + b_i \left(\frac{\sum_{k=1}^n k w_i^{rs}}{n} - k w_i^{rs} \right) + c_i \left(\frac{\sum_{k=1}^n k m_i^{rs}}{n} - k m_i^{rs} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 n : 地域 rs 間の経路数

この結果として各地域の主要な立地条件の1つである地域間の輸送コスト v_i^{rs} (単位財当りの輸送に要する全費用ないし損失) が次式のように変化する。

図-1 拡張地域間産業連関分析モデル システムチャート



$$v_i^{rs} = m_i^{rs} + \lambda_i w_i^{rs} \left. \begin{aligned} \text{ここに } m_i^{rs} &= \sum_k k f_i^{rs} m_i^{rs} \\ w_i^{rs} &= \sum_k k f_i^{rs} k w_i^{rs} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

また上式におけるタイムコストのマネーコストへの換算率 λ_i は、それぞれに対する交通配分率の弾力性の比として、式(1)よりつぎのように求められる。

$$\lambda_i = \frac{\partial k f_i^{rs} / \partial k w_i^{rs}}{\partial k f_i^{rs} / \partial k m_i^{rs}} = \frac{b_i}{c_i} \dots\dots\dots (3)$$

地域間の輸送費が変化する場合、各財の供給者および需要者が自己の利益最大のもとに行動する結果として市場圏が変化し、各地域間の取引パターンに変化が起こる。この取引パターンの変化は、地域間産業連関分析における交易係数の変化としてとらえられる。

この交易係数の変化は、ある財 i を各地域で1単位生産し、特定の需要地 s で販売するまでに要する単位財当りの総原価 c_i^{rs} と、各生産地の持つ生産能力 K_{Fi}^{rs} によってきまる相対的な市場競争力という概念を用いて、次式の交易係数推定モデルによりとらえられる。

$$t_i^{rs} = \frac{K_{Fi}^{rs} \cdot e^{-b_i c_i^{rs}}}{\sum_{r=1}^m K_{Fi}^{rs} \cdot e^{-b_i c_i^{rs}}} \dots\dots\dots (4)$$

または

$$t_i^{rs} = \frac{K_{Fi}^{rs} \cdot A_i^{rs} \cdot e^{-b_i v_i^{rs}}}{\sum_{r=1}^m K_{Fi}^{rs} \cdot A_i^{rs} \cdot e^{-b_i v_i^{rs}}} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 b_i : 正の定数

K_{Fi}^r : 期初における有形固定資産額

A_i^r : 製品輸送以外の地域 r の相対的な立地条件のよさを表わす指数

また輸送費の変化は、運輸部門からの投入係数および各産業部門の付加価値率を変化させる。その大きさは価格が変化しないと仮定すれば次式により求められる。

$$a_{nj}^{rs} = a_{nj}^s - \Delta a_{nj}^s \dots\dots\dots (6)$$

$$a_{0j}^{rs} = a_{0j}^s + \Delta a_{nj}^s \dots\dots\dots (7)$$

$$\Delta a_{nj}^s = \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^m \bar{a}_{ij}^s (t_i^{rs} \cdot \Delta v_i^{rs} + v_i^{rs} \cdot \Delta t_i^{rs}) \dots\dots\dots (8)$$

$$\Delta t_i^{rs} = t_i^{rs} - t_i^{rs} \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta v_i^{rs} = v_i^{rs} - v_i^{rs} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 a_{nj}^s , a_{nj}^{rs} : 輸送費変化前および後の運輸部門からの投入係数

t_i^{rs} , t_i^{rs} : 輸送費変化前および後の地域間取引係数

\bar{a}_{ij}^s : 単位財 j の生産に要する財 i の重量による投入量

一方、輸送費の変化は、各生産地間の立地条件の相対的な優劣を変化させることにより、流動的な産業資本投資の各地域に対する投下比率を変化させる。この産業資本投下比率の変化は、現在その地域がすでに保有している各財生産能力と各地域の各財供給ポテンシャルとの差の関数として求められる。これによって各地域各産業の生産能力が変化し、このことがタイムラグをともって取引係数を再び変化させる。

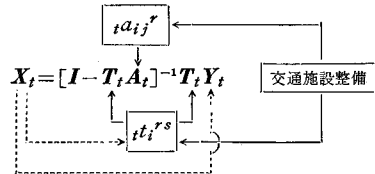
以上により各地域各産業の取引係数、技術係数が変化すれば、各地域における最終需要が同一の場合においても、地域間産業連関分析によって求められる各地域各産業の生産額、所得は変化する。

この生産額、所得の変化は、以下就業者数、人口、交通量など種々の経済指標に変化をもたらす。これらの変化が次期の最終需要ベクトルを変化させることにより、交通施設整備の効果は年々加速度的に影響をおよぼす。

一方、こうして最終需要を与えて地域間産業連関分析により求めた各値は、最終需要を満たすための必要値であるから、現実それが可能であるかどうかのチェック

として生産能力、交通容量を比較検討を行なう。

詳細な数式モデルについて、この概要ではほとんど省略したが、以上にのべた総合モデルの基本構造を要約すればつぎのように示すことができる。



ここに、 X : 地域生産ベクトル

T : Moses 型地域間取引係数マトリックス

A : 地域別技術係数マトリックス

Y : 地域最終需要ベクトル

I : 単位マトリックス

a_{ij}^r : r 地域における i 産業から j 産業への投入係数

t_{ij}^{rs} : rs 地域間の i 財の取引係数

→ : 1年間のタイムラグを示す。

地域間輸送マネーコスト km_i^{rs} , 輸送タイムコスト kw_i^{rs} については全国を 22 地域に分割し、また地域間産業連関表については通産省作成の昭和 35 年 9 地域 10 部門のものを基礎として、上記のモデルによる取引係数の試算を行なった。そうして、実績値と計算値がよく合うことを確かめるとともに、それぞれの地域と産業の特性値について考察し、交通施設整備による地域構造の変動分析のためにこの計量経済モデルを十分に応用しうることをのべた。

すなわち、われわれの提案した動的な地域産業連関分析のモデルを用いることにより、高速道路網、新幹線網などの大規模交通施設整備がそれぞれの地域におよぼす国民経済効果を試算することができる。そうして、さまざまな交通パターンに対応する地域所得の増大や、資本・人口の流出・流入効果を推計し、比較することにより、最適交通体系や建設順序などを見出すための方法論が得られたと考える。

[筆者：正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学科]

人工軽量骨材コンクリート設計施工指針 (案)

内 容 : 1 章 総則 / 2 章 軽量骨材 / 3 章 軽量骨材コンクリートの品質 / 4 章 軽量骨材の取扱い / 5 章 配合 / 5 章 練りまぜおよび運搬 / 7 章 コンクリート打ちおよび養生 / 8 章 試験 / 9 章 設計に関する一般事項
付 録 : 1 骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法 / 付 録 2 軽量粗骨材の浮粒率試験方法 / 付 録 3 構造用軽量細骨材の比重および吸水量試験方法 (案) / 付 録 4 構造用軽量粗骨材の比重および吸水量試験方法 (案)

体 裁 : B 6 判 53 ページ 定 価 : 300 円 会員特価 : 250 円 (〒 50)

申 込 先 : 土木学会 東京都新宿区四谷一丁目

入江内における冷却水 取・放水の研究

和田 明

多量の冷却水を常時安定して供給しうることが原子力や火力発電所の重要な立地条件の一つとなっているが、冷却水再循環問題を解決していく上に、慎重に考慮すべき数々の点が生じてくる。研究対象となった主要な項目はつぎのとおりである。

1) 深層水を取水することによる 温度の低い冷却用水を得ることの可能性、またその場合、最も効果的な深層取水設備の水力設計法。

2) 取水口への温水の再循環を阻止するための取放水口の配置選定法。

3) 冷却水放水に伴う海域での流動性状と熱拡散機構の把握。

本問題を解明するための手段としていくつかの方法が考えられるが、そこにはいろいろな問題点が生じてくる。すなわち、冷却水の放出流速は高々 0.5~1 m/sec であるので湾内の流れは非常に小さく放水口付近においてのみ冷却水固有の流れが判別できる程度である。その上やっかいなことに、海面では大気との熱交換作用の問題が考えられる。このようなことから、水力実験による方法は実際の現象との相似性の点で問題が生じ、すべての場合に適用できない。もちろん理論解析によっても個々の局所的な事柄を解明できても総合的な工学問題の解決には限度がある。そこで本問題においては電子計算機による数値模型実験の手法が主として研究を進める上に展開されている。

1. 冷却水深層取水

温度成層のある海域から深層冷水を取水する従来の研究においては水温鉛直分布が定常的であると仮定して研究を進めてきた。ところが発電所設置地点が湾奥に位置して風吹送距離が長く、しかも湾口から湾奥へ向かって吹き寄せる風が卓越するような場合には水温躍層が風の応力によって乱れたり低下したりするのではないかと懸念がある。この現象が極端に現われると深層取水方式が何の取柄もなくなる。問題にしたのはこの点で、取水設備の設計時に風の応力を考慮する必要がある

かどうか各地の湾で実測を行ない、あわせて理論的検討を実施している。その結果、水温躍層の擾乱を考慮する必要はないが低下現象の方はかなり著しいものがあり十分考慮しなければならないことが明らかになり、上述の実測結果を参考にして風の吹送による湾内各点の水面上昇量とこれにともなって生じる水温躍層の低下量についての算定式を求めている。

2. 取放水口平面配置決定に関する数値実験

一般に、放流流速は低流速であるので、海域には渦粘性が卓越するようになる。この流れは放水口付近の境界の影響、入江の地形にかなりの影響を受ける。この点が一般の噴流現象とおおいに異なるところである。

入江内での冷却水熱拡散現象の実態と密度成層分布の安定性については、各地の湾で詳細に海洋調査の結果、つぎの諸点が判明している。

(イ) 水温躍層は干満による潮位変化にかかわらず安定しており、風の吹送による擾乱過程によっても破壊されないことおよび躍層付近での渦粘性が非常に小さい。

(ロ) 湾内で顕著な水温躍層が存在している場合には放出された温水塊はこの躍層を通じて下層に拡散することなしに表層付近の水塊と混合を生じる傾向にある。水平渦動拡散率は鉛直方向のそれらの 50 倍以上の値を有していて、海域には強い異方性の場が存在している。

放水口からの流出による水深方向の流速分布とそれともなう熱拡散分布は上述の現地観測および大気との熱交換を考えた 3 次元熱拡散方程式の数値解析の結果からしてほとんど躍層以上に限られることが判明している。以上の結果から、温水冷却水を湾内へ放流したときの流速と水温の分布の算定に当っては平面状 2 次元的取り扱いができるとの仮定をたて放出水の力学的挙動と熱拡散現象（海面からの表面冷却効果も含む）を同時に考慮して算定する手法を開発している。これらの数値実験によって取水地点への接近流速、局所的な大きな流速値の出現による水温成層の安定性の判別、放水の船舶航行への影響および漁業補償と関連する海域の水温上昇などの問題が解決できる。また放水口については現地の気象、海象条件を考慮に入れて実際の地形を対象に種々の放水路設置案について流速と水温の分布を算定し、この計算結果を比較検討して適当な平面配置を決定することができる。以上述べた研究結果は敦賀原子力発電所、水島火力発電所、大分火力発電所などの冷却水再循環問題に適用され、冷却水取放水口の水力設計を実施することができた。

熱拡散計算の妥当性を検証すべく、湾内に設置された発電所の放水による水温分布と計算値とを比較した結果によると、放水口付近では両者の値におよそ 1°C 程度

の差が認められている。しかし、放水口より 60 m 以上沖合になると混合は渦動拡散などが主役を演じるようになるので計算値と実測値とがよく合致している結果が得られている。後述するようにより精度の高い結果を得るためには、放水口近傍での下層冷水の供給を考えた解析が必要となる。

同一湾内に設けられた冷却水取放水口配置案の優劣を検討する一つの方法として熱収支論によるシミュレート計算手法が開発され、湾の各種形状、規模、取・放水口の配置による湾内平衡水温および取水温度の算定図表が提示してある。特に熱収支過程において潮汐流による移流効果が大きいことに着目して湾内水が潮汐の干満によって湾外にどの程度排熱されるかを推量している。

3. 冷却水放出による熱拡散機構

冷却水放水による流れと熱拡散の現象は複雑な過程から成り立っている。現象を3次元的にみると、この流れと熱拡散とはお互いに独立に考えられる現象過程ではありえず、両者の相互干渉にもとづく流れおよび拡散の場が形成されている。本文では、この現象の内部機構を把握するために、特に鉛直断面における現象について注目し放水口から海域へ放流される流れと熱拡散分布との相互干渉によって放水口付近でどのような流れおよび

拡散の場が形成されるかを電子計算機による数値解析によって理論的に検討している。理論解析においては、水温の連続の場を対象にして流動と熱拡散過程の両者を同時に考慮するために密度変化を媒介とする運動方程式と熱拡散方程式を連立させて解いたものである。基礎方程式のなかにある渦動粘性および拡散率は水温勾配および速度勾配の関数として設定してある。

解析の結果、放水口からの放出にともなって特に放水口付近において逆向きの流れが底層に生じ、この流れが岸壁に沿って湧き上り表層の高温の冷却水流れに加入して流下する事実が確認された。このことから放水口周辺数十メートルまでは下層水加入による混合過程が海域の渦動拡散、潮汐混合による熱拡散よりも卓越することが明らかとなり、従来経験的に予測していた事実と一致した。

解析の結果明らかにされた放水口付近での下層水吸上げの現象は現地実測によっても確認されている。また海域での水温および流速の鉛直分布の全般的パターンは実測結果とよく一致していることが示されている。

これらの結果は密度連続場での流れと密度の場の問題解決に対してのみならず、今後展開する湧昇流現象を加味した2層モデル計算への糸口になりうる。

【筆者：正会員 工博 電力中央研究所技術研究所】

出版案内

申込先：東京都新宿区四谷1丁目 土木学会へ 振替東京16828番

土木技術者のための

岩盤力学

地質の地盤はさまざまな重要な土木構造物の基礎になっている。トンネル、ダム、地下発電所、橋梁などその例は数多い。

本書では、土木地質学、岩石の力学的性質、岩盤の強度および変形に対する理論的あるいは模型実験的解析法、岩盤の性質におよぼす透水の影響、斜面安定、掘削、ダム、トンネル等に対する岩盤力学の応用および最近の重要な研究紹介などをできるだけ平易に解説しました。とくに岩盤力学を使って設計施工が行なわれたわが国の工事例を多数集録したのが本書の特色であり、ぜひご一読下さるようおすすめします。

内 容：第1章 地質／第2章 岩石の性質／第3章 岩盤の試験／第4章 水と岩盤／第5章 岩盤力学における理論計算／第6章 すべり安定の計算／第7章 模型実験／第8章 掘削／第9章 ダムへの応用／第10章 トンネルへの応用／第11章 施工中および施工後の測定／第12章 最近の基礎的研究のすう勢

体 裁：B5判本文8ポ一段 489 ページ

定 価：3600円 会員特価：3000円 送料：200円

受賞論文要旨・奨励賞

「直柱に働く衝撃砕波力の研究」 「有限振幅重複波ならびにその波 圧に関する研究」

合 田 良 実

波が構造物にぶつかったときに働く波力は、波のあたり方や構造物の形によっていろいろな現われかたをする。今回の例でいえば、第1のものは水面が直柱を叩くことによる力であり、第2のものは重複波の水面が上下運動をするときの静水圧的な力として現われる。

まず第1の「直柱に働く衝撃砕波力」の論文は、灯標や海上作業台の支持柱などに砕波が衝突するときのどのような力が働くかを扱ったものである。波の砕ける前であれば、波力は直柱のまわりの水粒子が往復運動することによって生ずるので、波力の波の周期に応じてゆるやかに変化する。ところが砕波の場合には、波が衝突した瞬間に大きな衝撃力が働き、砕けない波とは非常に異なった様相を呈する。

この衝撃力は、砕ける前のような連続した水中の運動による力ではなく、むしろ水上飛行機や衝撃カプセルの着水時の衝撃力と同じように、水面と物体との衝突に起因する力と考えられる。すなわち波が砕けるとき、とくに巻き波のときは、その前面が切り立って壁のようになり、これが前方へ突進し、やがて頂部から巻き込んで崩れる。この水の壁が静止した直柱に衝突すると、衝突した部分の水塊は瞬間的に前進を阻止され、その周辺の水も急速に減速される。この減速運動、または前進運動量の急減は当然に力の作用を必要とし、これが逆に直柱に衝撃力として働く。

水の壁がさらに前進を続けて直柱を包み込んでしまえば、直柱の周囲には定常流に似た流線が形成されるので、衝撃力は消滅する。したがって、衝撃力は砕波の前面が直柱と接触してから直柱の最大径部分を通過するまでのごく短時間の間だけ働くもので、たとえば直径1mの円柱に周期15mの砕波がぶつかった場合で、水深7mとして5/100秒程度である。

この衝撃力の大きさは、砕波前面の水の壁がどのような速さで前進運動量を失うかによって定まり、これは直柱の断面形状と衝突速度に関係する。たとえば円柱の場合には、長さ dl あたりで、

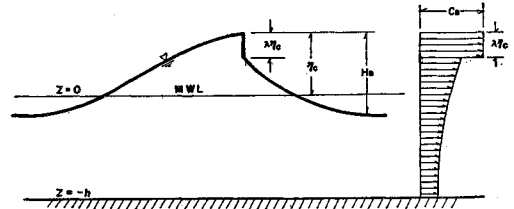
$$dF = \frac{\pi}{2} \frac{w}{g} C_B^2 D \left(1 - \frac{t}{\tau_B}\right) dl$$

$$\dots\dots 0 \leq t \leq \tau_B = \frac{D}{2C_B} \dots\dots (1)$$

と表わされる。ただし、 w は水の単位体積重量、 D は直径、 C_B は砕波の波速である。円柱では、衝突の瞬間に波力の最大値が生じ、以後直線的に波力が減少する。これが三角柱の場合には、衝突の瞬間に0で以後次第に増加して最大径部通過時に最大波力となるような変化をする。

実際の砕波の前面形状は必ずしも直立した壁面で表わされるわけではなく、非常に切り立った曲面にむしろ近い。しかし、砕波の形状は波ごとに大きく変化するのが普通であり、一般的な曲面形を与えることは現実的でない。このため、この論文では 図-1 のように波の山の

図-1 砕波モデルの波形および粒子速度



頂部の h_2 の部分だけが直立した水の壁となって、速度 C_B で前進するモデルを採用した。これは最も単純なモデルであるが、砕波現象の変動性から考えて、あまりに複雑なモデルでは衝撃砕波力の一般の解析には不向きであると判断されたためである。しかし、砕波、とくに強い衝撃力を生ずるような巻き波は、かなり 図-1 に近い形である。ここで λ は、砕波の巻き込みの強さを表わす一つのパラメーターと考えておけば良い。

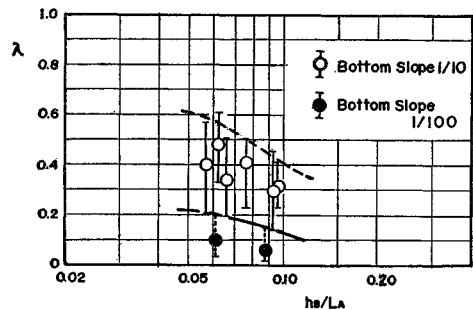
このようなモデルを使うことによって、直柱に働く衝撃砕波力の合力が求められ、円柱については、

$$F_I = wDH_B^2 K_B \lambda \left(1 - \frac{t}{\tau_B}\right), \text{ここに } K_B = \frac{\pi C_B^2 \eta_C}{2gHB} \dots\dots (2)$$

と表わされる。この K_B の値は砕波限界の波の特性によって定まるもので、深海領域の1.4から浅海領域の2.8程度の範囲で h/LA とともにゆるやかに変化する。

またパラメーター λ は、衝撃砕波力の実験値を理論値と比較することによって、図-2 のように求められた。

図-2 パラメーター λ の実験値



水深と波長との比 h/L_A が小さいほど大きく、また海底勾配が急なほど大きな値になる。これは、大きく巻き込む波ほど衝撃砕波力が高いことを示している。また λ の値の散らばりが大きいのは、砕波の波形が波ごとに異なることによるものである。

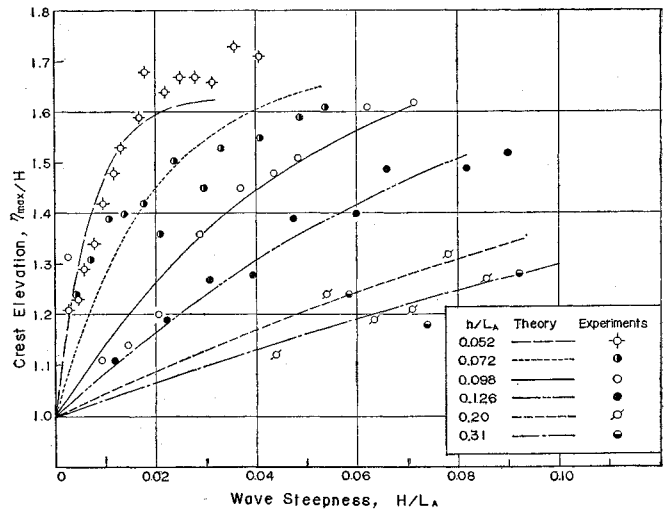
前に述べたように、衝撃砕波力の作用時間は非常に短い。このため、直柱の部材応力に対する有効波力としては、直柱の動的な応答を考える必要がある。また、直柱には式(2)の衝撃力だけではなく、砕波の壁の下の部分の水により抗力と質量力も作用している。したがって、砕波による全波力としては近似的に

$$F_B = wDH_B^2 [C_D K_D (1-\lambda)^2 + C_M \frac{D}{H_B} K_M \sqrt{1-(1-\lambda)^2} + K_B \lambda X_{max}] \quad \dots\dots\dots (3)$$

と表わされる。ただし、 C_D は抗力係数、 C_M は質量力係数であり、 K_D 、 K_M は筆者が先に試算した最大抗力および最大質量力、また X_{max} は衝撃力に対する直柱の応答係数である。

上式において λ と X_{max} の値によっては、砕波直前の波による抗力と質量力の和の方が、砕波による有効全波力よりも大きくなる場合が考えられる。したがって、実際問題においては、砕ける直前の波およびちょうど砕ける波の両者について波力の有効値を計算し、大きな方

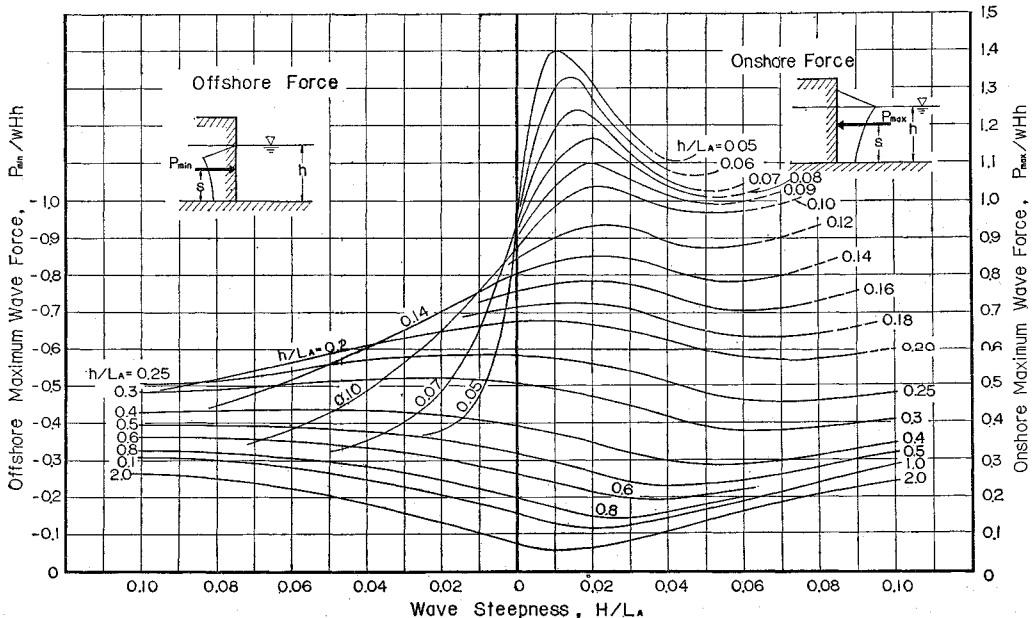
図-3 重複波の波頂高



を取ることが必要である。実際の設計への適用にあたっては二、三不明な点も残されているが、この方法によって波力の推定が一応可能である。

つぎに第2の「有限振幅重複波とその波圧」の論文は、防波堤などに働く重複波圧の問題を取り扱ったものである。この場合波は完全反射されるので、最初から重複波が形成されているものとして解析が進められる。手法としては、波形、速度ポテンシャルなどを波形勾配のべき級数の形に展開して、次数の低いものから順に解いて行く摂動法 (Perturbation Method) が用いられる。

図-4 重複波の最大全波力



今回の論文では、Tadjbaksh と Keller の求めた第3次近似解を第4次近似まで拡張し、波形および波圧をくわしく計算した。

このように高次項まで計算を進めると精度が一般に良くなるけれども、あくまでも近似解にとどまるために常に近似誤差が残る。たとえば理論式にしたがって水面における水圧を計算してみると、これが必しも0にならない。このため、今回の波圧計算では表面圧力の残差を最大水位時の圧力分布に比例した形で各水深に配分して補正する手法を採用した。したがって、修正第4次近似解とも呼ぶべきものである。

この計算結果は、造波水路における実験結果と相当良く一致する。図-3は重複波の波頂高を比較した例で、波高としては理論計算、実験とも前面水位変動の差の1/2を用いている。また、波高が大きくなるにつれて波圧の山が2つに割れる現象も、有限振幅の重複波の一般の性質として計算結果でも示される。この現象は、深海

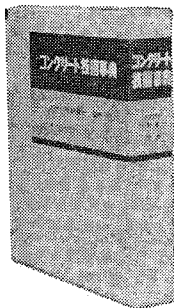
波、あるいは水底付近にだけ現われるものではなく、波高の増大とともに波圧が重複波型から砕波型へ移行する先駆的現象として必ず見られるものといえる。この双峰型波圧が明瞭に現われるときは、波圧合力の最大値は水位最大のときではなくて、これよりも低い水位、すなわち水位上昇時に生ずる。このため、波圧合力を各時刻ごとに計算してその最大値を読みとった結果が図-4である。図の右半分は波の山、左半分は谷のときの逆向きの波力を表わしている。

このように重複波の現象自身は理論式によって相当細かな所まで計算できるのであるが、図-3、4などの結果を実際の構造物設計に導入するためには、波高のとりかた (H_{max} をどうきめるか) や、重複波圧から砕波圧への移行の問題などいろいろ面倒な点が残されている。また、設計波高の選定方式なども関係し、波圧だけの問題ではない。各方面からの検討が必要と思われる次第である。

(筆者：正会員 運輸省港湾技術研究所)

コンクリート技術事典

材料から施工技術までの
重要4000項目を網羅



B5判 p.914
¥8000 丁120

本書はコンクリートの材料・構造・施工に関する諸問題ばかりでなく、コンクリートに関連深い鋼材・石材・タイル・アスファルト・シーリング材などについての項目も、広くかつ洩れないよう収集選定し、これに解説を加えて五十音順に配列したものである。



オーム社

本社＝東京都千代田区神田錦町3の1＝振替東京20018＝電話(291)0912(代表)
分室＝東京都文京区後楽1丁目5番3＝(雑誌部)＝電話(813)4426(代表)
支店＝京都市中京区河原町通四条上ル＝振替大阪69205＝電話(221)0280
支店＝京都市北区北野上白梅町6-9＝(白梅町店)＝電話(463)4503
支店＝大阪府北区堂島(毎日大阪会館)＝振替大阪10884＝電話(363)0641(代表)

高張力異形鉄筋の使用に関する基礎研究

岡 村 甫

鉄筋コンクリート部材の設計において、高張力異形鉄筋を用いて許容応力度を高く採ることは、世界のうす勢であり、わが国でも材質ならびに表面形状の異なる種々の形式の高張力異形鉄筋が市販され、重要な工事にもさかんに使用されている。本論文は、合計 20 種の各種高張力異形鉄筋を用いて行なった引き抜き方法による付着強度試験、鉄筋コンクリートばりの静的曲げ試験、ならびに曲げ疲労試験、等の結果を述べ、高張力異形鉄筋の使用上の問題点、とくにそれらの付着性状ならびに疲労性状について論じ、各種高張力異形鉄筋の特徴を明らかにするとともに、新たに登場した付着性状の試験方法の意義を示し、さらに高張力異形鉄筋を用いる場合の許容引張応力度について提案したものである。4 ならびに 5 においては、各種高張力異形鉄筋を用いて行なった引抜き試験およびはりの曲げ試験の結果に基づいて、市販の代表的な高張力異形鉄筋はいずれも JIS の表面形状に関する規定に十分適合するものであり、きわめて良好な付着性能を有していることを実証した。すなわち、引抜き試験における付着強度は丸鋼の約 3 倍以上であり、はりに生ずる最大ひびわれ幅がある値に達するときの鉄筋応力度は丸鋼を用いた場合の約 1.4 倍である。また、丸鋼を用いたはりでは、くり返し載荷にともなうひびわれ幅の増加が著しいが、これらの異形鉄筋を適当に用いれば、くり返し載荷によるひびわれ幅の増加は実用上とくに考慮する必要がないことも示した。

JIS の規定の範囲内にある異形鉄筋においても、フシと軸線とのなす角度が小さいこと、フシ側面の傾斜角が小さいこと、フシの頂部が滑らかなこと、等が重なった場合には、引抜き試験における付着強度が劣るばかりでなく、はりのひびわれ幅も大きくなり、くり返し載荷にともなうひびわれ幅の増加も著しくなる、等実用上十分な付着性能が望めない場合もある。したがって、高張力異形鉄筋の選択に当っては、JIS に対する可否を検討するだけでは不十分であって、適当な試験によってその付着性能を十分に検討する必要がある。

耐久性を必要とする鉄筋コンクリート部材に生ずる曲げひびわれ幅の許容値は、気象作用・部材の露出状態・鉄筋のかぶり・等のほかに、構造物の種類・重要度ならびに耐用年数・死活両荷重の大きさの関係・等によっても異なるものであるが、既往の実験結果を参照し、筆者の実験結果をも考慮すれば、わが国の通常気象条件のもとでは一般の部材に対して 0.2mm を考えれば十分と思われる。はりに生ずるひびわれ幅が 0.2mm に達するときの鉄筋応力度は、鉄筋の付着性能ならびに直径・鉄筋比・かぶり・等によって異なるのみならず、コンクリートの乾湿の程度その他複雑な因子の影響を受けるが、筆者の実験結果によれば、JIS の表面形状の規定に十分適合する高張力異形鉄筋に対しては 2200 kg/cm² 以上であることが示された。元来わが国では永年にわたり丸鋼の許容引張応力度に 1600 kg/cm² を採ってきたが、耐久性に支障を来たした例はほとんどなかった。はりのひびわれ幅を小さくする異形鉄筋の効果は、前記のように丸鋼の 1.4 倍と考えるとよい。高張力異形鉄筋に対する許容引張応力度は、一般に、2200 kg/cm² に採って良いことになるが、この数値は丸鋼の使用経験に倣しても妥当な値となっている。

6 においては、付着試験の方法として新しく考案された両引き試験方法、すなわち断面 15×15 cm・長さ 30 cm 程度のコンクリート中に埋込まれた鉄筋の、両端に引張力を加え、供試体両端における鉄筋の滑動量をダイヤルゲージで測定する方法、について検討し、この方法が、はりの引張部における鉄筋の付着性状を試験する方法として優れている点に意義があり、鉄筋の付着性能を判定するための標準試験方法としても有望であることを実証した。すなわち、(1) 両引き試験において、ある滑動量を生ずるとき、JIS に十分適合する異形鉄筋の鉄筋応力度と丸鋼の応力度との比は 1.30~1.35 であって、はりの曲げ試験において、あるひびわれ幅を生ずるとき鉄筋応力度の比約 1.4 にほぼ一致すること、(2) 両引き試験における滑動量にほとんど差のない鉄筋の場合には、これを用いたはりのひびわれ性状にも相違はないが、両引き試験における滑動量が大きくなるような鉄筋を用いたはりのひびわれ性状は劣ること、(3) 半割りにした異形鉄筋の一半に溝を切り鉄筋断面の重心位置にひずみ計を貼りつけた後、両半部を接着した鉄筋を用いた試験によれば、両引き試験における付着応力の分布ははりのひびわれ間の引張鉄筋における付着応力の分布状態と類似していること、(4) 各種高張力異形鉄筋の両引き試験における数値の開きは引抜き試験における数値の開きより小さいが、試験値の誤差も小さいので、付着性能に実用上の相違がある場合には両引き試験によっても

明瞭に示されること、等が確かめられたのである。

また、両引き試験方法の細部について検討した結果から、直径 19~36 mm の鉄筋を試験する場合には、供試体の長さを 20~30 cm とし、滑動量が 0.1 mm に達するときの鉄筋応力度を基準の鉄筋と比較することを提案した。

7. および 8. においては、各種高張力異形鉄筋を用いて行なった鉄筋コンクリートはり合計 96 本の疲労試験結果を述べ、各種異形鉄筋の疲労強度を明らかにするとともに、表面形状の相違が疲労強度におよぼす影響を論じた。

各種高張力異形鉄筋の疲労強度は、鉄筋の種類によって著しく相違し、用いた鉄筋の 200 万回疲労強度（下限応力度を 400 kg/cm² とした場合の上限応力度）は、高いものは 3 200 kg/cm² 以上であるが、低いものは 2 000 kg/cm² 程度に過ぎない。疲労強度が相違する主要原因は、フシが鉄筋母材に取りつく部分における勾配の緩急にあり、フシ取りつけ部を適当な円弧としてその部分における応力集中を緩和したものの耐疲労性はきわめて良好である。すなわち、フシ取りつけ部をフシの高さの 1~2 倍以上の半径の円弧とした異形鉄筋では、フシと軸線とのなす角度その他にかかわらず 200 万回疲労強度はいずれも 2 900 kg/cm² となった。フシ取りつけ部における勾配急変が緩和されていない異形鉄筋においては、フシと軸線とのなす角度を小さくすることは耐疲労性の改善に有効であるが、これは弱点となるフシ取りつけ部が一断面に集まらないことによるものと思われる。

10. においては市販高張力鉄筋の疲労強度について論じた。はりの疲労試験によって求めた鉄筋の疲労強度

は、はりの断面形状・鉄筋比・等の影響をほとんど受けないこと、小型はりによる疲労試験結果が大型はりにも適用できること、品質の良い高張力異形鉄筋の場合には SD 35~SD 50 と材質が相違しても疲労強度はほとんど相違しないこと、等が実験によって確かめられた。それで、鉄筋コンクリート部材に用いる代表的な市販高張力異形鉄筋の疲労強度としては、本実験値すなわち 2 500~3 200 kg/cm² の 200 万回疲労強度を有すると考えてよい。したがって試験の方法・鉄筋の直径・等の相違による影響、鉄筋の性質のばらつき、その他を考慮しても、現在市販されている降伏点が 3 500 kg/cm² 以上の代表的高張力異形鉄筋に対しては、活荷重のくり返しが著しい部材に用いる場合の許容引張応力度として、一般に 2 000 kg/cm² 程度の値を採っても支障ないものと思われる。

9. においては前章までの実験結果に基づいて付着ならびに耐疲労の両性状とともに良好ならしめるための異形鉄筋の表面形状について検討した。最も有効な表面形状の一つが、フシ取りつけ部にフシの高さの 5 倍程度以上の円弧を設けることによって耐疲労性を高め、フシの途中で勾配を急変せしめ、上半部は直立させることによって付着性能を高めたものであることを指摘した。

11. においては、5. および 10. で検討した結果に基づき、一般の土木構造物に用いる場合の鉄筋の許容引張応力度として、SD 35 を用いる場合に 2 000 kg/cm² 以下、SD 40 を用いる場合に 2 200 kg/cm² 以下、また特に活荷重のくり返しの影響の著しい部材に用いる場合には SD 40 も 2 000 kg/cm² 以下、とすることを提案したのである。

[筆者：正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科]

出版案内

第 4 回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要

体裁：B5 判 53 ページ 定価 500 円 送料 60 円

第 4 回衛生工学研究討論会講演論文集

体裁：B5 判 169 ページ 定価 1 100 円 送料 100 円

第 9 回地震工学研究発表会講演概要

体裁：B5 判 103 ページ 定価 700 円 送料 70 円

第 14 回橋梁構造工学研究発表会講演概要
—薄板および立体構造に関する研究—

体裁：B5 判 195 ページ 定価 2 000 円 送料 100 円

第 12 回水理講演会講演集

体裁：B5 判 136 ページ 定価 800 円 送料 80 円

混相流シンポジウム講演前刷集

体裁：B5 判 96 ページ 定価 600 円 送料 100 円

第 2 回岩の力学国内シンポジウム(1967)講演集

体裁：A4 判 192 ページ 定価 1 500 円 送料 100 円

Response of Suspension Bridges to Moving Vehicles

伊藤 学

走行荷重によって吊橋に生ずる動的効果を検討し、とくに長径間吊橋の設計に用いる衝撃係数に関する資料を得ることが本研究の目的である。

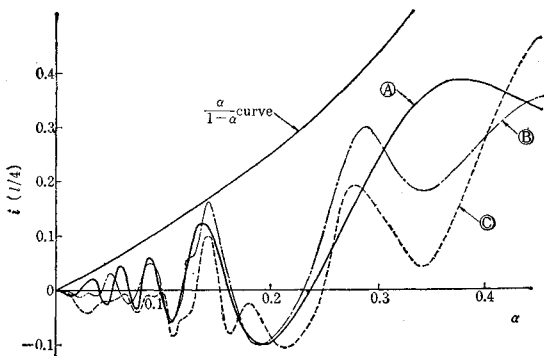
吊橋は他の橋梁形式にくらべて剛性が低く、活荷重による変形が大きいうえに、振動しやすい構造物とされている。これが、従来吊橋の鉄道橋としての安全性に疑問がもたれていた一つの原因と考えられる。そこでこの論文の内容も吊橋上を走行する鉄道車両を主たる対象とする。

橋梁上を走行する機関車および列車が橋梁におよぼす動的作用は、すでによく知られているように、(a) 平滑走行荷重(および質量)による速度効果、(b) 車輪の不均衡重錘または偏心に起因する錠打作用、(c) 車両ばねの作用、(d) 軌条継目、路面の不整による衝撃、(e) 車両の横ゆれ、蛇行による動的効果、(f) 車両進入時の振動に分類される。本論文では吊橋の鉛直たわみ振動に問題をしぼり、長径間吊橋において検討を要する上記(a)から(d)までの要因をとりあげた。

1. 吊橋の動的応答の理論解析

走行荷重による吊橋の強制振動を解くには、規準振動形をフーリエ級数で近似し、モードに分解する古典的な手法を用いた。これに先立って吊橋のたわみ固有振動数に関する一般的考察を行ない、長径間吊橋の固有振動数は近似的にケーブル垂距の平方根に逆比例するとみなしうることなどを見出した。なお、走行質量の影響や補桁に沿って伝播する過渡的な波動の影響は別に考慮する

図一 速度パラメータと衝撃係数の関係



こととする。

(1) 単一集中荷重が定速走行する場合

もっとも一般的な形式である側径間を有する2ヒンジ吊橋を対象とし、荷重が隣接スパンより移動してくるときはその接続点における境界条件を考慮して計算を行なった。図一に主径間 500 m (A), 1000 m (B), 1500 m (C) の3種の吊橋における主径間 1/4 点のたわみ衝撃係数を、速度パラメーター $\alpha = v/lN_2$ の関数として示す。ここに v は荷重走行速度、 l はスパン長、 N_2 は逆対称一次固有振動数である。吊橋の最大たわみが生ずるこの $l/4$ 点付近の衝撃係数 $i(l/4)$ の上限値は、主径間 600 m 以上の場合に近似的に次式で推定できる。

$$i\left(\frac{l}{4}\right) = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{1}{(K\sqrt{l}/v) - 1}$$

ここに、 K は定数で、通常 $4 \text{ m}^{1/2}/\text{sec}$ 程度の値をとる。

(2) 連行荷重が定速走行する場合

これを分布荷重に置きかえると、集中荷重の場合よりも衝撃係数は減ずる。たとえば主径間 1000 m 程度の吊橋上を速度 120 km/hr で走行するときは $1/4$ 以下に減ずる。なお一般に吊橋においては曲げモーメントの衝撃係数はたわみ衝撃係数よりやや大きめに考えておいた方がよい。

(3) 走行質量の影響

振動する桁の上を走行する荷重の質量は、その慣性力によってさらに桁の動的たわみを増大させることがある。単純桁においてこの効果を示す一公式で、桁の曲げ剛性の代わりに吊橋の換算たわみ剛性を用いて検討した結果、動的増幅率は1%に満たないことが推定された。

(4) その他の要因による動的効果

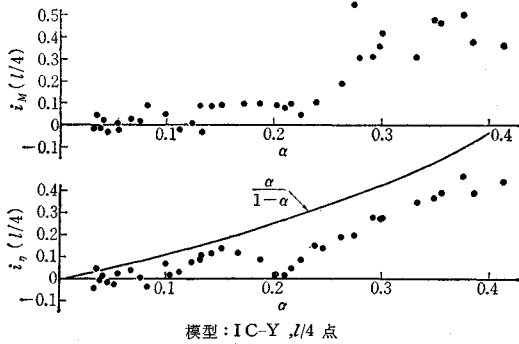
従来短中スパンの鉄道橋における衝撃のおもな原因とされていた蒸気機関車の錠打作用も将来は考慮する必要はなくなるが、たとえそれが存在しても長径間吊橋における動的効果としてはきわめて小さいことを確かめた。それは吊橋の基本固有周期と外力の周期との間に大きな差があるためで、これは車両ばねの作用、軌条継目における衝撃についても同じことがいえる。そしてこれももし高次振動と共振すると仮定したときの動的たわみを与える近似式を導き、その場合でも対数減衰率 0.05 程度の減衰の存在によって衝撃係数は2%以下におさまる。

2. 模型実験による検証

吊橋の原型として、主径間 540, 800, 1100 および 1400 m の4種の道路・鉄道併用橋を想定し、相似則にしたがって縮尺 $1/67 \sim 1/100$ の模型を製作した。模型では死荷重や剛度を変え、あるいは各種のステイを併用するなどの変化を与えたので、その個数は約 20 におよぶかなり大規模な実験となった。

走行実験用の模型車両は平滑走行を意図する一軸車両

図-2 実験結果の一例



を基本とし、これに車輪の不均衡重錘あるいは車体ばねをとり付けうる構造にし、さらに列車荷重に相当する連行車両模型も準備した。これらもやはり鉄道車両を対象とし相似則にもとづいて設計を行なった。

模型実験の結果は速度パラメータと衝撃係数で整理したが、その一例は図-2に示すとおりで、要約すればつぎのとおりである。

(1) 平滑走行荷重の場合

1) 着目点における振動はパスの1/4点にあっては逆対称最低次、中央点にあっては対称1次または2次の振動モードが支配的で、高次振動の影響はごくわずかである。

2) 集中荷重の場合にくらべて、列車(連行)荷重が走行した場合の振動はおだやかである。

3) たわみ記録より求めた衝撃係数値は図-2に示したように理論的推定の結果を立証している。

4) 曲げモーメント記録にはたわみにおけると異なり高い振動数の不規則な振動波形が顕著に混入する。これは模型構造上の特殊性によるものとみられるが、連行荷重走行の場合には振幅としてはきわめて小さい。

5) 複線軌道上を列車がすれ違い走行する場合の衝撃係数は単線走行の場合の結果とほとんど差がない。

(2) ばね荷重および錠打荷重走行の場合

1) 車両ばねの有無、ばね定数の変化は長径間吊橋を対象としたこの模型実験では動的応答にほとんど影響を与えない。

2) 錠打荷重走行のさいの動的増幅率に関して与えた近似理論式は安全側の結果を与える。

以上の結果より、現在想定している荷重速度の範囲ならば、600 m以上の長径間吊橋に対する前記の理論的推論の結果は妥当と考えることができる。

3. まとめ

走行車両が橋におよぼす動的効果のうち、長径間吊橋においてもっとも影響の大きいのは平滑高速走行荷重による速度効果である。これもスパンの長いほど減少はするが、少なくとも主径間600ないし1500 mの吊橋上を車両が150 km/hr程度以下の速度で走行するかぎり、吊橋に有害な振動を生ずることはない。しかし200 km/hr以上の速度にもなれば、過渡的な波動や走行質量の影響が加わって動的効果は急激に増大するおそれがあり、また比較的短い側径間では動的効果が若干大きくなる可能性がある。

また鉄道橋として設計する場合には、長径間吊橋といえども補剛げには衝撃係数を考慮するのが望ましく、その場合、単線橋で最大走行速度150 km/hrで0.15、120 km/hrで0.10程度の値を覚えておけば安全と思われる。

終わりに、実験上の尊い協力者であった故 松原駿士、計算の援助を頂いた東大大学院の西岡 隆の両工学修士の労に謝意を表するとともに、本研究に助力を頂いた日本鉄道建設公団、日本国有鉄道ならびに東大橋梁研究室の関係者各位にも厚くお礼申し上げる次第である。

[筆者：正会員 工博 東京大学助教授 土木工学科工学部]

コンクリート 第18号 ■現場コンクリートの品質管理と品質検査

コンクリートの品質管理は、一般製品の管理とは異なり、統計的手法を単純に適用できない面もあり、特に品質検査結果の判定には複雑な要素を考慮することが必要となります。

本書は、コンクリートの品質管理を統計数理の説明から実施例まで詳細に解説した技術者必けいの書ですので広くご利用下さい。

体 裁：B5判8ポ一組組 108 ページ
 定 価：700 円
 会員特価：550 円
 著 者：尾坂芳夫(国鉄構造物設計事務所技師)