

# 明日を築く47

## REPORTAGE

超ミクロの世界  
クォークを探る  
建設すすむトリスタン  
計画

## 鋼管杭ゼミナール

「地震力に対する建築物の  
基礎の設計指針」の紹介

## 鋼管杭レポート

地震と基礎——  
世界の動向をさぐる

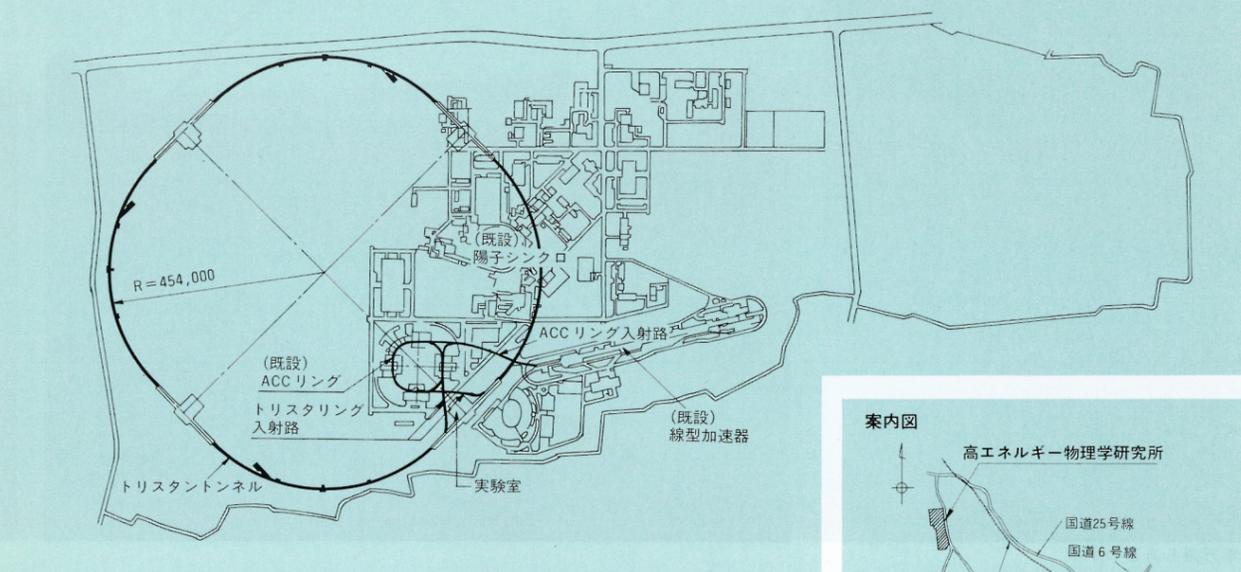


超ミクロの世界——クォークを探る

# 建設すすむトリスタン計画



図-1 トリスタン計画全体平面図



原子——これが物質を構成する最も小さな単位である、と考えている人は、はなはだ多い。ところが、これはひと昔も、ふた昔も前の考え方なのである。現在の考え方は、物質を構成する最も小さな単位は、光子、レプトン、クォークなのだ（そうである）。

この分野の研究は、わが国でも古くから行われ、あの湯川秀樹博士が“中間子”の存在を予言し、ノーベル賞を受賞したのも、この分野、すなわち、“素粒子物理学”なのである。

いま、筑波研究学園都市に建設を急いでいる円周3kmの加速器リングを持つ“トリスタン計画”は、素粒子物理学のいくつかの謎を解きあかすプロジェクトとして注目を浴びている。

この“トリスタン計画”を陰で支え、重要な役割を果たしているのが、鋼管杭なのである。

### 理想の学園都市——筑波

いま、また筑波は、大きく変ろうとしている。

昭和36年、東京への人口の過度集中防止のため、機能上必ずしも東京に置かなくてもよい官庁の集団移転を決定、以後、20余年、その実現に向けてこの筑波に着々と建設がすすめられてきた。

“研究学園都市”としての筑波は、茨城県南部の筑波町、大穂町、豊里町、谷田部町、桜村、荃崎村の6か町村全域にまたがり、南北18km、東西6km、面積は2,700haにもおよんでいる。

すでに、この学園都市には、筑波大学をはじめ、43の国等の試験研究、教育機関などが建設され、機能を発揮している。

学園都市に足を踏み入れると、もうそこは旧来の大都市とは異なった別世界だ。

学園東大通り、西大通り、南大通り、北大通りなど、この都市のメイン通りは、したたる緑に囲まれ、幅広いゆったりとした雰囲気は、近代都市づくりのひとつの典型ともいえる。

ここで道を訪ねても、面食らう。それも徒歩の場合はなおさらだ。とある研究所の門衛で道を訪ねる……その答……2軒先です……この2軒がたいへんなのだ。歩くと20分、30分かかっ

てしまう。それだけ、それぞれの研究機関の敷地が広大であり、ゆったりと各施設のスペースをとっている。

秋も深まった10月末にも、所々に色あざやかな花々が咲き、その中でもセイダカアワダチ草が黄色いペールのようにあたりを圧している。

いま、この筑波がまたひとつ大きな変貌を遂げようとしている。

「人間・居住・環境と科学技術」をメインテーマとした“科学万博”が来年3月に開催される。

この科学万博の開催を機に、すでに国鉄常磐線・土浦駅は、霞が浦畔の田舎びた駅から、超近代的な駅ビルに生まれ変わっている。また、万博に合わせて「万博中央駅」という新しい駅が設けられるが、その建設もほぼ終りかけている。行き交うブルドーザー、ダンプも心なしかせきたてられているようだ。

## もくじ

- ルポルタージュ 47 ..... 1  
超ミクロの世界——クォークを探る  
建設すすむトリスタン計画
- 西から東から ..... 6
- 鋼管杭セミナー ..... 7  
「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」の紹介
- 鋼管杭レポート ..... 11  
地震と基礎——世界の動向をさぐる
- 文献抄録 ..... 16  
組織図・会員紹介

## 表紙のこぼ

アーバン・ルネッサンスという言葉が最近マスコミをにぎわしている。ここ筑波では、ひと味違った都市づくりがすすめられている。“都市”とはいっても、田園情緒が色濃く、そのままの自然が随所に見られる。いま、この学園都市の北のはずれですすめられる「トリスタン計画」。物質の最小単位“クォーク”を見つけ出す施設の建設が急ピッチで行なわれている。掘削地に整然と頭を並べる鋼管杭が、その完成を今や遅しと待ちわびているようである。

## 編集MEMO

朝の寒さがひとときわ身にしみる候となりました。「明日を築く47号」をお届けします。最近、地震に対する基礎の安全性が声高にいわれていますが、今号では、「ゼミナール」と「レポート」に、この話題を掲載しています。わが国の設計指針と海外の動向——二つの角度からこのテーマを掘り下げています。冬の夜長、ジックリとお読み下さい。本誌に対するきたんないご意見をお待ちしています。



科学万博もあとわずか



完成間近の「万博中央駅」



新装になった土浦駅



ゆったりと……霞が浦

常磐自動車道矢田部インター



次第に姿を現すパビリオン

会場予定地には、すでに完成をほうふつさせる各パビリオンの骨組みができていき、最後の化粧を待っている。INS、LANなど、最新の情報システムを駆使し、20世紀の科学を集大成しようという、このプロジェクトの完成が待たれるところである。

光子、レプトン、クォーク???

さて、研究学園都市の最北端にある「文部省・高エネルギー物理学研究所」。ここで、「トリスタン計画」はすすめられている。

“トリスタン計画”に触れる前に、ちょっとした物理学の勉強をしないと、この計画がかいもくわからないことになる。

さて、すべての物質が原子という微粒子でできていることは、よく知られている。この原子の中心には原子核があり、そのまわりを電子がまわっている。原子核はプラスの電気を、電子はマイナスの電気を持って互いに引張り合っている。原子核は、また、陽子と中性子という2種類の粒子でできている。原子を構成する電子、陽子、中性子などは物質の素であるということから、“素粒子”と呼ばれている。

陽子はプラスの電気を持っているが、中性子には電気がない。そこで、陽子と中性子を結ぶ新しい力が存在しなければならぬと、湯川博士がこれをつなぎとめる力として、その存在を予言したのが“中間子”であった。

その後、“加速器”と呼ばれる装置によって得られる高エネルギーを用いて多くの素粒子が発見されている。これまでに発見された素粒子の数は、150種以上にのぼり、元素の数よりも多い。これらの素粒子は、光の粒である光子、レプトンと呼ばれる電子の仲間、ハドロンと呼ばれる陽子、中性子、中間子の仲間とに分類される。このうち、最も多いハドロンは、“クォーク”と呼ばれる粒子で構成されているので、結局自然界は、光子、レプトン、クォークから成り立っていると考えられている。

このクォークについては、すでに5種類が発見されており、6番目のものとして、理論的にはトップクォーク（トップクォーク）の存在が予言されている。このトップクォークの精密な検証、クォーク間の相互作用の解明がトリスタン計画の重要な目標のひとつなのである。

図-2 トリスタントンネル断面図

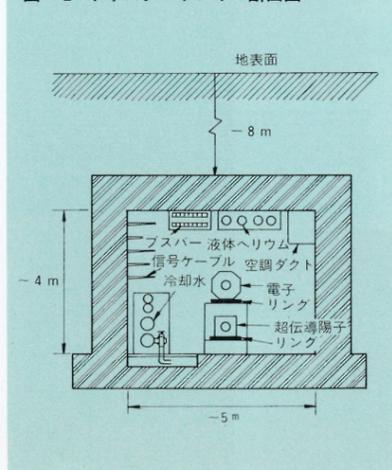
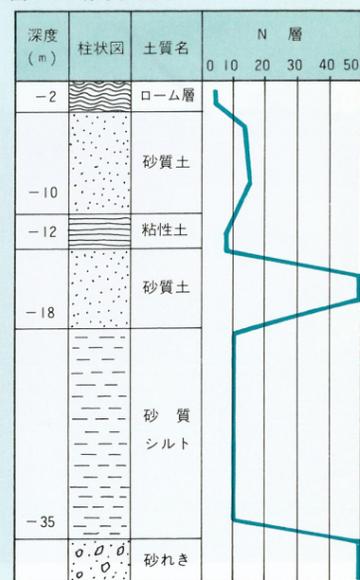


図-3 標準柱状図



まだ見ぬ物質を探る

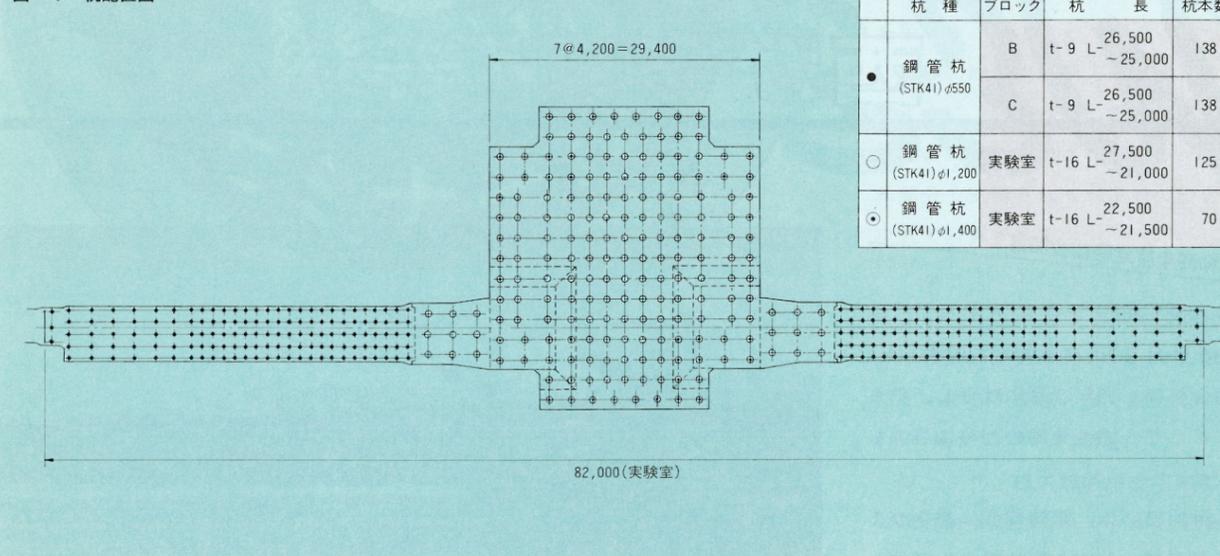
トリスタン—TRISTAN計画とは、Transposable Ring Intersecting Storage Accelerators in Nippon

(日本における粒子の貯蔵と加速を行う置換可能な交差型リング)の略である。

計画では、地下約10mのトンネルの中に円周約3kmの加速器リングを建設、この大リングの中で、電子を時計まわりに、陽電子を反時計まわりに走らせ、4か所の実験室内で正面衝突させて、そのとき生ずるいろいろな反応を調べる。昭和61年に完成すると、電子、陽電子のスピードは光速に近く、300億電子ボルトの正面衝突という、この種の加速器としては、世界で最も高いエネルギーを実現できる加速器となる。この装置は、トップクォークの精密な検証をはじめ、クォーク間の相互作用の解明、未知の粒子の探究、さらには今後の素粒子物理学の重要な課題全般にわたり大きな貢献をすることが期待されている。

トリスタン計画で計画されている主な施設は、直径約1km、一周約3kmのトリスタンリングと、そのリングに対し、加速した電子や陽電子を入れるための直径約110mの電子陽電子入射蓄

図-4 杭配置図



杭種	ブロック	杭長	杭本数
● 鋼管杭 (STK41) φ550	B	t-9 L-26,500 -25,000	138
	C	t-9 L-26,500 -25,000	138
○ 鋼管杭 (STK41) φ1,200	実験室	t-16 L-27,500 -21,000	125
◎ 鋼管杭 (STK41) φ1,400	実験室	t-16 L-22,500 -21,500	70

積リング、4つの実験室等である。

このうち鋼管杭基礎により建設のすすめられているのが、実験室とトリスタンリングトンネルの一部である。

ボーリング調査によると、計画地周辺は、地表2m程度を関東ローム層で覆われており、約-12mにN値の高い砂質土層があるものの層厚が6m前後と薄いため、支持層は、-35m前後の砂れき層とした。

この地盤に各施設が建設されるわけだが、なにぶんにも計画そのものが素粒子の実験であり、その実験機能を満足する精度、および放射能汚染を十分に考慮し、構造物の耐震性、水密性には万全の配慮がなされている。とりわけ、耐震性に関しては、平面的に大きな広がりを持つトンネル部に、剛性の高い実験室がとりついた構造となっているため、トンネル部のメジ割りも含めた地震時の挙動についてさまざまな検討をくり返し、その安全性を確認している。

基礎形式は、まずトンネル部については、トンネル部の排土重量と、実験機器を含めた躯体自重がほぼバランスすること、また、放射線しゃへい高さやアンダーピニング通過高さの関連を検討した結果、約-12mの中間砂層を支持層とする直接基礎とした。

また、実験室部については、トンネル部と同様に増加荷重はほとんどないが、実験の心臓部であり、許容沈下量が厳しく、直接基礎、杭基礎の両方を比較検討した結果、安全性と信頼性の高い鋼管杭基礎を採用した。

なお、トンネル部と実験室部が異なった基礎になるため、その連結部に緩衝部を設けることが必要となり、この部分約70mのトンネル部には鋼管杭基礎を採用することとなった。

順調に終わった杭打ち工事

計画地に立ってみても、およそ大きなプロジェクトとは思えないほど、建設機械や機材が少なく、かえってこれが学園都市なのだと思いきさるほどである。ところが、トンネル建設部に来てみると大違い。地表から10m前後の掘削をして、その中で工事が行われているので、まわりからはその建設の実態がわからないのだ。その掘削部では、杭打ち機、ブルドーザー、クレーンなどが入り、建設作業はいまやたけなわ。掘削された地層の断面が、まるで柱状図を見るように、くっきりと地層の複雑さを見せている。

工事用道路を横切ろうとすると、ほんの10mほど先に、やっぱり道路をのんびりと横切っているやつがいる。な

んとキジの夫婦である。こっちはまるで無関心。こんな自然の中になると人間がひどく小さく感じられてくる。

キジの通りすぎた道路の向う側に杭打ち機の頭が見える。杭打ち作業もほとんど終りかけている。

杭打ち作業は、昭和58年3月に開始され、59年7月に完了した。とくに問題という問題もなく、順調に、予定通りに終了した。トンネル上部工事は60年の3月まで、実験室は61年5月まで行なわれる。

- ここに使用された鋼管杭は、
- 実験室 φ1,200、1,400×16t×ℓ(21~27.5m)
- 緩衝トンネル部 φ550×9t×ℓ(25~26m) 総量約10,000トンとなっている。

超ミクロの世界を探る素粒子物理学。

われわれの生活とは一見ほど遠いようだが、実は、近代科学の進歩を背景から支えてきたのが、この分野の成果であり、ひいてはそれが日常生活に大きく、確かに根をおろしているのである。

1日も早いトップクォーク(トップクォーク)の精密な検証に大きな期待をかけて、取材班は現場を後にしたのである。

# WEST ASIA 西から東から

## ●昭和59年度定時総会開催

藤木俊三氏(当協会第2代会長)が、昭和59年4月2日、享年73才で逝去した。

同会長は、53年5月に就任し、約6年にわたり、協会発展のために尽力してきた。

5月31日には、定時総会に先き立ち新会長選任のための臨時総会を開催し、新日本製鉄(株)常任顧問(元同社副社長)豊田茂氏(写真)を

第三代会長として選任した。また、臨時総会に引きつづき開催された昭和59年度定時総会では、59年度の常任理事、理事、監事などが選出された。



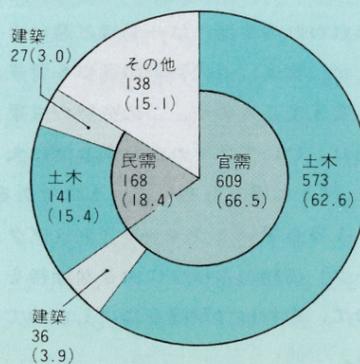
## ●昭和58年度受注実績とまる

昭和58年度の鋼管杭(鋼管矢板含む)の受注実績がまとまった。

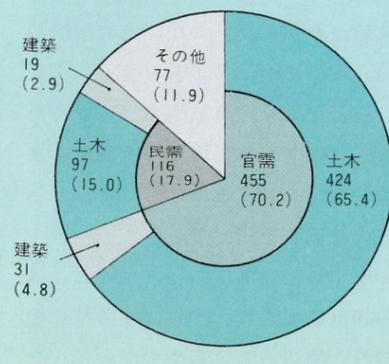
これによると、公共工事の抑制、電力工事の着工遅延などの影響により、総需要は、前年に比べて263千トン減の、648千トンとなった。

### 需要部門別構成比(鋼管矢板を含む、単位千トン、カッコ内は%)

昭和57年度 総量 915



昭和58年度 総量 648



## ●鋼管杭—その設計と施工— (通称赤本)の改訂新版を刊行

昭和58年度11月の鋼材についての規格改正を機に、その内容の見直しを行い、このほど、改訂新版を発行した。

なお、主要な改訂箇所は次のとおり。

- 1) 第2編 材料の JIS 規格の改正、新規公布により内容の整理および不要規格の削除。
- 2) 第3編 土質調査と載荷試験について、土質工学会基準「杭の水平載荷試験方法・同解説」の内容に沿って説明。
- 3) 第6編 腐食および防食については、鋼管杭の腐食対策として長期海洋暴露試験をはじめ各種の試験・研究の

成果をもとに開発されたポリエチレン被覆鋼管杭を新規に紹介。

- 4) 巻末資料としての参考文献概集については、当協会編「杭に関する文献抄録集」、学術発表講演集、発刊書籍等から、鋼管杭に関する参考文献を追補。などである。

## ●運輸省との共同研究協定締結

港湾や、海洋構造物は、苛酷な自然条件に暴露される厳しい腐食環境にある。このため、防食技術の調査研究を行うことが、今後の海洋開発推進、既設構造物の耐久性向上の面からもつよく求められている。

そこで当協会は、運輸省港湾技術研究所、(財)沿岸開発技術研究センターと共同研究協定を締結。既設鋼管杭(茨城県波崎町地先沖)に対し、各種防食法を適用し、その防食効果および耐久性を検討する研究を7月末より開始した(写真)。なお、研究期間は、5~10年となっている。



建設省建築研究所第3研究部基礎研究室長  
工学博士 杉村義広  
鋼管杭協会 工学博士 長岡弘明

### 1. まえがき

過日、建設省住宅局建築指導課より「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」についての説明が、鋼管杭協会他、基礎の設計に関連する団体に対し行われた。同設計指針は、昭和54年9月より昭和57年3月にかけて、建設省建築技術審査委員会建築基礎検討小委員会で作成されたものであり、本年9月建築指導課課長通達として、特定行政庁に通知されている。本小論では前半で、設計指針の内、主として鋼管杭に係る部分を紹介し、基礎の地震時設計用外力、杭の安全性をチェックする

杭体応力度の検討、杭材の許容応力度等についてのべる。また、後半では本指針に基づく設計例に言及し、従来設計との比較について若干の考察を行う。

### 2. 地震時設計用外力

地震時において、上部構造に図-1(a)に示す水平慣性力が作用するが、この力により最下階柱脚において水平力、および転倒モーメントによる鉛直力が生じる。基礎の設計用水平力として、(b)図に示すようにこの最下階柱脚での水平力に、基礎部分の水平慣性力を加えた値を用い、設計用鉛直力として、長期鉛直力に転倒モーメントに

よる最下階柱脚の鉛直力を加減した値を用いる。

基礎の設計用水平力は、図-2に示すように、地下室等の根入れ部分と杭基礎の両者で支持されているが、根入れ部分で支持される水平力の割合 $\alpha$ は、次式で計算される

$$\alpha = 1 - 0.2\sqrt{H}/\sqrt{Df} \quad (1)$$

ここに、Hは地上部分の高さ(単位m)、Dfは根入れ部分の深さ(m)である。ただし $\alpha$ は0.7を超えない値とし、 $Df \geq 2m$ の場合について適用する。

以上より、杭の設計用水平力は基礎の設計用水平力に(1- $\alpha$ )を乗じた値となり、杭の設計用鉛直力は、基礎の設計用鉛直力そのままの値を用いる事になる。

### 3. 杭体応力度の検討

以上で求めた杭の設計用外力を用い、本章では杭体に生じる応力度の検討についてのべる。杭体応力度の検討は2段階に分かれており、最初に杭体に発生する曲げモーメントの計算、次に曲げモーメント等により発生する応力度と杭材の許容応力度との比較検討について説明する。ここで用いられる杭材の許容応力度の値については、次章で説明する。

図-1 地震時外力

(a) 上部構造に作用する水平慣性力 (b) 基礎に作用する地震時外力

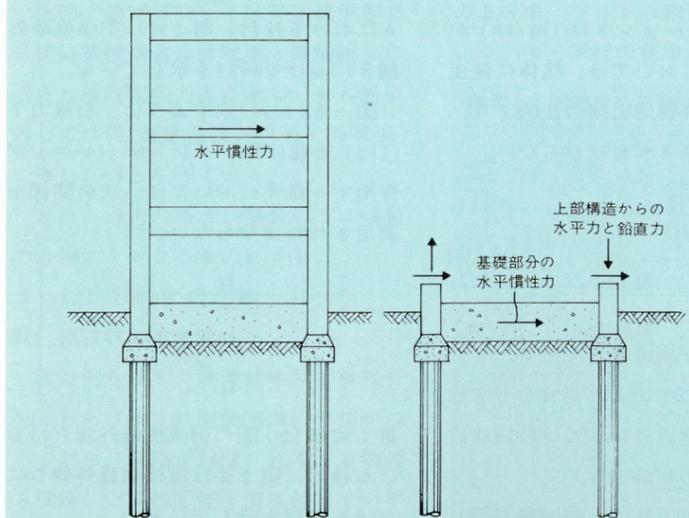


図-2 基礎の水平力の支持

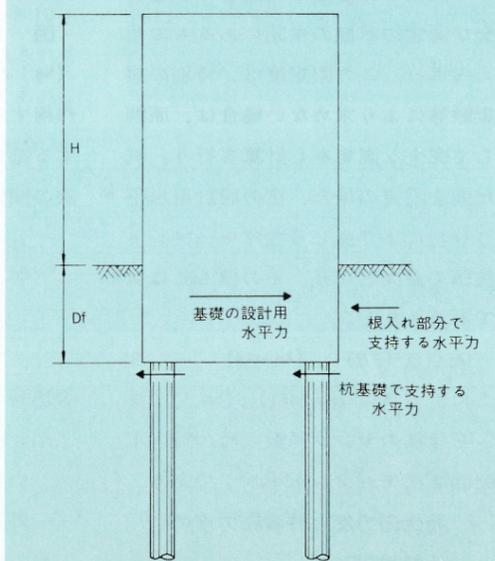
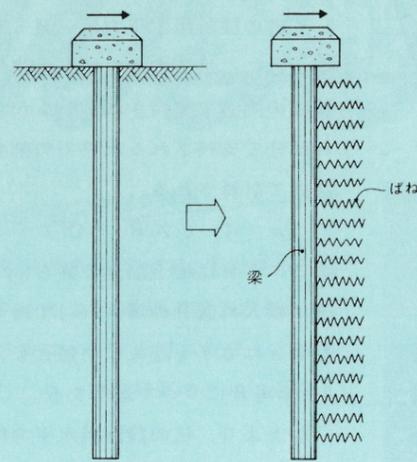


図-3 杭の計算モデル



3.1 杭体の曲げモーメント

杭の設計用水平力により杭体に生じる曲げモーメントは、図-3に示すように杭の周辺地盤をばねにおきかえ、ばねで支持された梁のモデルを用い計算する。周辺地盤を表わすばねのばね係数 $K_h$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )は、地盤反力係数とよばれるが、次式で計算される。

$$K_h = 0.8E_0 B^{-3} \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (2)$$

ここに $E_0$ は地盤の変形係数とよばれるもので、例えば標準貫入試験の $N$ 値が測定されている場合、 $E_0 = 7N$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )として求める事ができる。

杭頭部はフーチング等により回転が拘束されており、固定される程度は、図-4に示す完全なピン結合の状態と完全な固定の状態の間にあるものと考えられる。この固定度は、特別の調査実験等により求めない場合は、原則として完全な固定をし計算を行う。杭頭が完全固定の場合、杭の設計用水平力 $Q$  ( $\text{kg}$ )により生じる曲げモーメントは杭頭で最大となり、その値 $M_0$ は次式で計算される。

$$M_0 = Q / (2\beta) \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}) \quad (3)$$

ここに、 $\beta = 4\sqrt{K_h B / (4EI)}$  ( $\text{cm}^{-1}$ )であり、 $E$ は杭のヤング係数 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )、 $I$ は断面2次モーメント ( $\text{cm}^4$ )である。

3.2 発生応力度と許容応力度の

比較検討

杭体応力度は、弾性理論に従い検討

図-4 杭頭部の固定状態

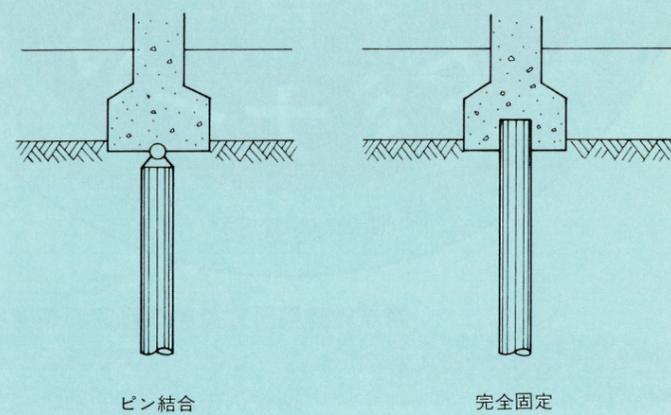
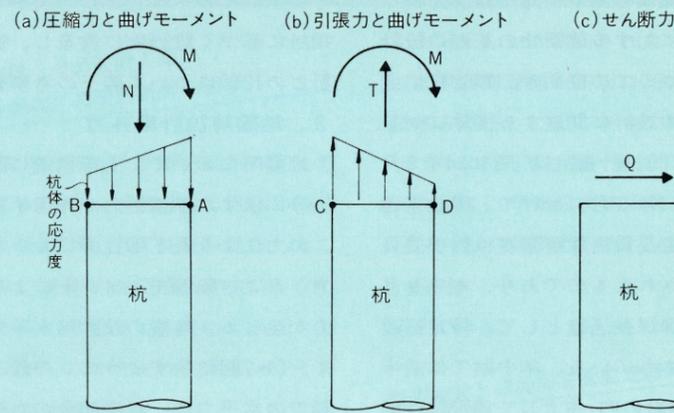


図-5 杭体に作用する断面力



する。曲げモーメントを受ける場合、杭体断面は平面保持をすとし、図-5に示すように、各点の応力度は中立軸からの距離に正比例するものとする。図-5(a)に示すように、圧縮力 $N$  ( $\text{kg}$ )と曲げモーメント $M$  ( $\text{kg} \cdot \text{cm}$ )が作用する杭体においては、杭体に発生する応力度と許容応力度の比較より、次の関係が満足されねばならない。

$$\left. \begin{aligned} \frac{N}{A_e} / f_c + \frac{M}{I_e / r_{ec}} / f_b &\leq 1 \\ -\frac{N}{A_e} / f_t + \frac{M}{I_e / r_{et}} / f_t &\leq 1 \end{aligned} \right\} (4)$$

各記号の意味は次の通りである。

$r_{et}$ 、 $r_{ec}$ : 杭の中心より腐食しろを除いた引張側最外縁または圧縮側最外縁までの距離 ( $\text{cm}$ )

$A_e$ : 腐食しろを除いた断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$I_e$ : 腐食しろを除いた断面2次モー

メント ( $\text{cm}^4$ )

$f_c$ 、 $f_b$ 、 $f_t$ : 鋼材の許容圧縮応力度、許容曲げ応力度、許容引張応力度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

(a)の第1式は(a)図の圧縮側最外縁Aにおける検討、第2式は引張側最外縁Bにおける検討を示している。

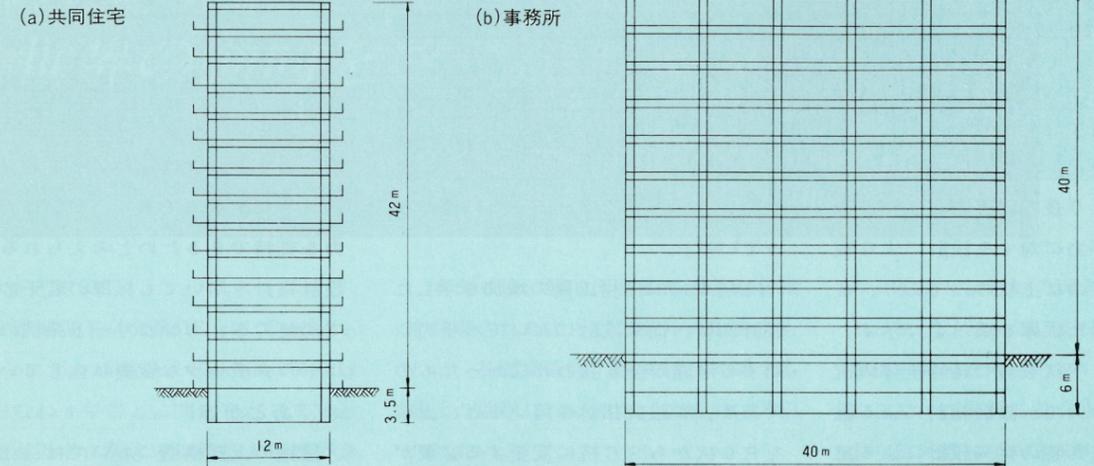
図-5(b)に示すように、引張力 $T$  ( $\text{kg}$ )と曲げモーメント $M$  ( $\text{kg} \cdot \text{cm}$ )が作用する杭体においては、次の関係が満足されねばならない。

$$\left. \begin{aligned} \frac{T}{A_e} / f_t + \frac{M}{I_e / r_{et}} / f_t &\leq 1 \\ -\frac{T}{A_e} / f_b + \frac{M}{I_e / r_{ec}} / f_b &\leq 1 \end{aligned} \right\} (5)$$

第1式は(b)図の引張側最外縁Cにおける検討、第2式は圧縮側最外縁Dにおける検討を示している。

また、図-5(c)に示すせん断応力 $Q$

図-6 設計例



( $\text{kg}$ )に対しては、次の関係が満たされねばならない。

$$\frac{x \frac{Q}{A_e}}{f_s} \leq 1 \quad (6)$$

ここに $f_s$ は鋼材の許容せん断応力度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )、 $x$ はせん断応力の分布係数と言われるもので、鋼管杭では $x = 2.0$ である。

4. 杭材の許容応力度と腐食しろ

鋼管杭の鋼材の許容応力度は、表-1に示す値である。

$F$ : 鋼材の許容応力度の基準強度

$F^*$ : 設計基準強度

$$F^* / F = 0.80 + 2.5t/r$$

$$(0.01 \leq t/r \leq 0.08)$$

$$F^* / F = 1.0 \quad (t/r \leq 0.08)$$

$r$ : 杭半径 ( $\text{mm}$ )

$t$ : 腐食しろを除いた厚さ ( $\text{mm}$ )

圧縮、曲げに対しては日本建築学会「建築基礎構造設計規準・同解説」に示される許容応力度に準じ、せん断に対しては同「鋼構造設計規準・同解説」に準じた値となっている。

また、通常の場合、腐食しろは鋼管の外側に1mmとるものとする。

5. 従来設計との比較

5.1 鋼管杭の重量変化

設計例として、共同住宅及び事務所をとりあげる。共同住宅は、平面が12m×48m、階高が14階、10階、6階の3種類、いずれも地下階は持っていない。事務所は、平面が40m×40m、階

高が10階、7階、4階の3種類で、地下1階を持っている。共同住宅、事務所の断面図の例として、各々14階、10階の場合のものを、図-6に示す。

従来の水平力に対する設計においては、設計者の判断に依存する所が多く、統一された設計法は用いられていなかったが、ここでは代表的なものとして、次の2つを用いる。

設計法1: 杭頭をピン結合とし、水平力は全て杭で支持する。

設計法2: 水平力の支持は、地下室等の根入れ部分の水平抵抗に期待し、杭については、水平力に対する考慮は行わない。

杭長は、図-7に示すように30mの場合をとりあげ、直径60cm、長さ10mの上・中・下3本の鋼管で構成されている。中・下杭の板厚は9mmであり、

図-7 鋼管杭

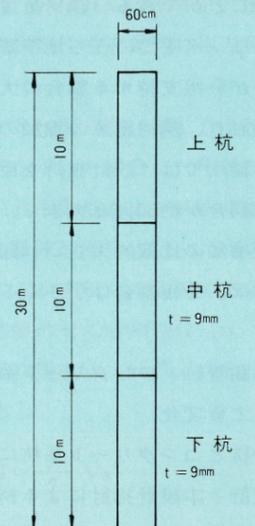


表-1 鋼管杭の鋼材の許容応力度

圧縮	長期			短期
	引張	曲げ	せん断	
$\frac{F^*}{1.5}$	$\frac{F}{1.5}$	$\frac{F^*}{1.5}$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$	長期の1.5倍

表-2 上杭の板厚

建物の種類	階高	設計指針	(単位mm)	
			従来設計法1	従来設計法2
共同住宅	14	14	12	9
	10	14	12	9
	6	12	12	9
事務所	10	12	—	9
	7	12	—	9
	4	9	—	9

# 地震と基礎

## 世界の動向をさぐる

建設省土木研究所地震防災部耐震研究室長  
工学博士 川島一彦

表-3 鋼管杭の重量比

建物の種類	階高	設計指針	従来設計法1	従来設計法2
共同住宅	14	100	94	85
	10	100	94	85
	6	100	100	90
事務所	10	100	—	90
	7	100	—	90
	4	100	—	100

この板厚により長期鉛直力が支持されている。水平力に対する設計により板厚が変化するのは上杭のみであり、各設計法で求めた板厚を表-2に示す。また上・中・下杭を含む建物全体の杭の総重量について、設計指針による重量を100とした時の従来設計による重量比を表-3に示す。これらの表より、設計指針を用いた場合、上杭の板厚は9~12mmが9~14mmに増加し、鋼材重量は0~18%の間で増加している様子を見ることができる。鋼材重量の増加の大小は、水平力のうち地下室等根入れ部分が分担支持する割合の大小を反映しており、鋼材重量の増加のない4階の事務所では、設計指針を用いた時の分担割合が約50%と大きく、逆に鋼材重量増加の比較的大きい14階の共同住宅では、分担割合は小さく5%である。

### 5.2 鋼管杭、コンクリート系杭の材工費変化

鋼管杭とコンクリート系杭について、従来設計と本設計指針による材工費を比較した例を収集し、設計指針を用いた場合の従来設計に対する材工費の増加率を求め、プロットした結果を図-8に示す。ここでの設計例は、同一の建物に対し、鋼管杭とコンクリート系杭を設計したものではなく、1つの建物に対し、1種類の杭を設計し、従来設計と設計指針による材工費を比較したものである。これらは少数例であり、一般的な傾向を示しているか否かについてはなお検討の余地はあるかもしれないが、図-8をみる限りでは本設計指針を用いた場合、コンクリート系杭の内、PC杭で1.0~1.34倍、場所打コンクリート杭で1.0~1.52倍の材工費が

用心鉄筋を入れたもの等である。

鋼管杭では、従来設計で水平力に対する考慮が全く払われていない設計例においても、高さ1.15倍の材工費増加にとどまっている。これはたとえ水平力に対する設計は行わなくても、鋼管杭は本来耐震的であり、かなりの水平力を支持できるためと考えられる。本設計指針を用いても板厚の若干の増加で対処でき、コンクリート系杭のようにドラスチックな変更は生じていない。

### 6. あとがき

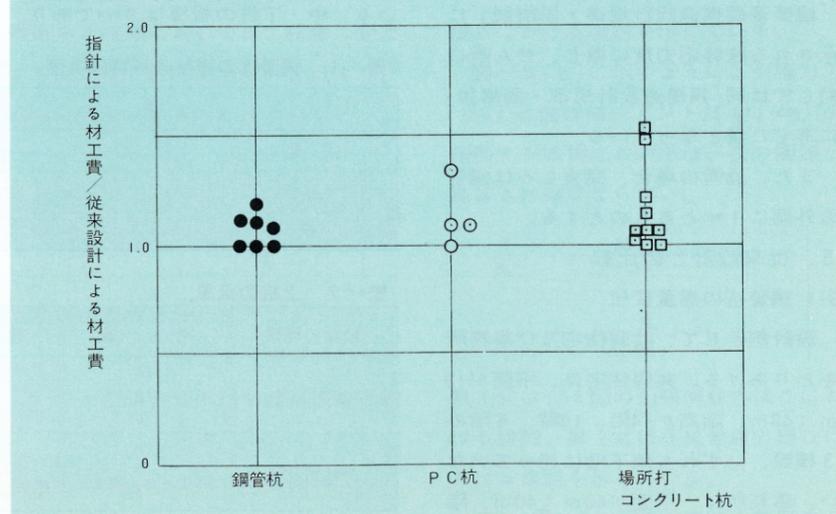
建物の上部構造においては、1次設計と2次設計の併用が実施されているが、1次設計は比較的頻度の高い中小地震に対し、建物に殆ど被害を生じさせない事を目的としたものである。また2次設計は関東大地震級の大地震に対し、建物にある程度の損傷はあっても、崩壊しないことを目的としている。本設計指針は基礎の1次設計をとりあつかったものであり、本小論ではその内で鋼管杭の設計に関連する部分の紹介を行った。基礎の2次設計法は、現在日本建築学会を中心に、議論がなされつつあるが、基礎において1次、2次設計が併用されるようになるのは、しばらく後の事と考えられる。なお、本小論の前半は主として杉村が、後半は主として長岡が担当した。

増加し、鋼管杭では1.0~1.15倍となっている。

PC杭が1.34倍材工費の増加を示した設計例は、従来設計において水平力に対する考慮が全く払われなかったものである。本設計指針を用いると、上杭をPC杭からSC杭に変更する必要が生じ、このため材工費の大幅な増加となっている。他のPC杭の設計例では、杭頭をピン結合とする等の条件は用いられているが、従来設計においても、水平力に対する考慮が払われており、材工費の増加も比較的小幅となっている。

場所打コンクリート杭の設計例の内、1.5倍前後の材工費増加を示した例では、根入れ部分で支持する水平力が、従来設計では過大に見積もっていた事等により、本設計指針を用いた場合杭の曲げモーメントが大幅に増加している。このため、杭径をワンサイズ上のものにする必要が生じ、材工費の大幅増加となっている。材工費増加が1.2倍以下の設計例は、従来設計においても十分な耐震設計を行ったり、十分な

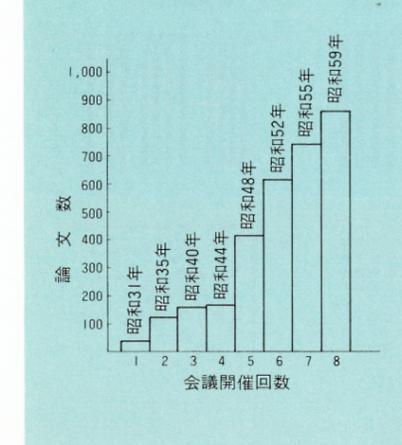
図-8 材工費の変化



### 1. まえがき

世界地震工学会議(World Conference on Earthquake Engineering)はおおむね4年ごとに開催される文字通り地震工学に関する世界最大規模の会議である。第1回会議は昭和31年に米国で開催され、以後、第2回(日本、昭和35年)、第3回(ニュージーランド、昭和40年)、第4回(チリ、昭和44年)、第5回(イタリア、昭和48年)、第6回(インド、昭和52年)、第7回(トルコ、昭和55年)と続き、第8回会議は本年7月21日~28日に米国サンフランシスコ市において開催された。今回は世界43ヶ国から合計858編の論文が集まり、会議参加者は2,000人にのぼるとされている。このうち、我が国からは約250人が出席し全体の約30%に相当する248編の論文発表が行われた。図-1は、過去8回の会議における発表論文数の推移を示したものであり、近年における地震工学に関する世界的な関心の高まりを反映して論文数の大幅な伸びが窺われる。

図-1 世界地震工学会議における発表論文数の推移



本文では、第8回世界地震工学会議で発表された主として海外の論文をもとに、基礎構造物の耐震設計に関する最近の話題について2、3簡単に御紹介したい。

### 2. 杭基礎に対する動的相互作用の影響

地盤と構造物の動的相互作用に関しては現在までも各種の検討が加えられてきており、これらによれば一般にベタ基礎等浅い基礎の場合には、動的相互作用の効果は構造物に生じる地震時断面力を減少させる方向に働くといわれている。また、このような点を考慮し、ATC-3では、地盤と構造物の動的相互作用を考慮する場合には、ベースシアを最大30%まで低減してもよいと規定されている。このように、動的相互作用の効果は構造物に有利に働く大きな理由の1つは、構造物の振動エネルギーが周辺地盤へ逃げる(逸散減衰)ことによるものである。

それでは、杭基礎の場合にも、浅い基礎の場合と同様に動的相互作用の効果は構造物の地震時挙動に有利に作用するであろうか? この問題に対して西オンタリオ大学のNovac教授らは以下のような興味深い解析を実施している。

解析に取り上げられたのは10階建ビルであり、基礎は図-2に示すように

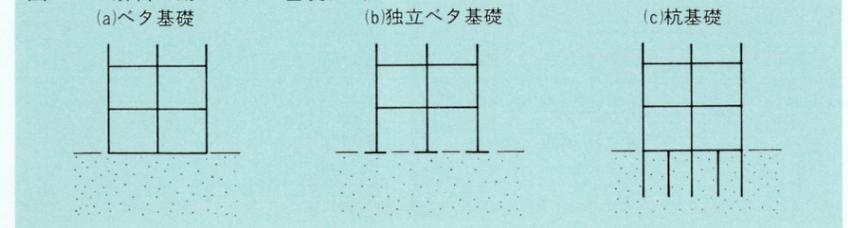
ベタ基礎と杭基礎の両者を取扱っている。杭径は23cmで、支持杭、および摩擦杭の両者を考慮している。ただし、ここでは、解析の都合上杭頭作用力により杭先端に下向きの力が働く場合を支持杭、働かない場合を摩擦杭と取扱っている。実際の状況とはやや異なる。地盤は半無限粘弾性体および下方に基盤がある場合の2種類を対象としており、いずれも等価線形化法により土の非線形性を近似的に取り入れている。

図-3は図-2に示した3種類の基礎形式を用いた場合に10階建てビルの1次固有振動数および減衰定数が地盤のせん断波速度Vsによってどのように変化するかを示したものである。ここで、地盤のせん断剛性G [tf/m<sup>2</sup>] はせん断波速度Vs [m/sec] とは次の関係がある。

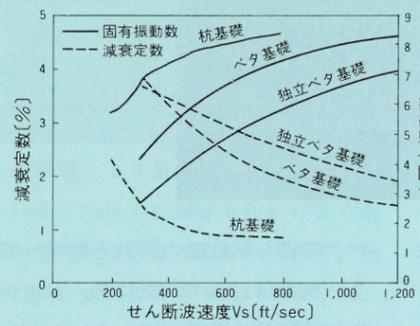
$$G = \frac{\gamma}{g} V_s^2 \quad (1)$$

ここでは、 $\gamma$ 、 $g$ は、それぞれ、地盤の単位体積重量 [tf/m<sup>3</sup>] および重力の加速度 [m/sec<sup>2</sup>] である。したがって、地盤のせん断波速度Vsが大きい程、剛性の高い地盤を表わしている点に注意して図-3を見ていただきたい。杭としては長さ9.2mの摩擦杭15本を使用した場合の例を示している。これによ

図-2 解析に用いられた基礎種別



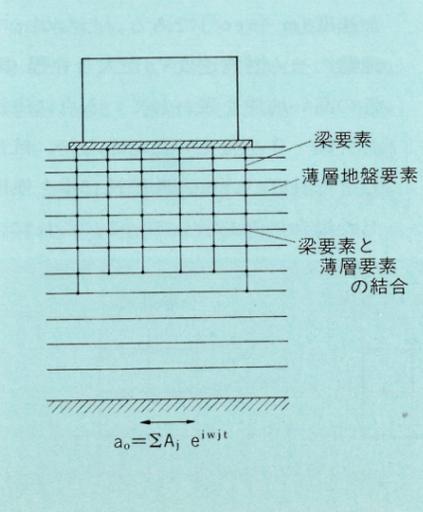
図一三 基礎形式による1次固有振動数および減衰定数の違い (10階建ビル)



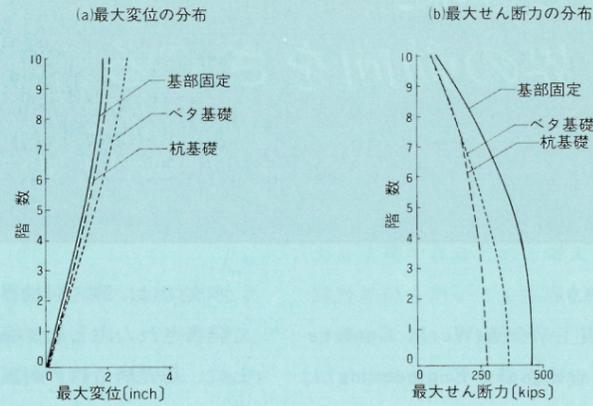
れば、3種類の基礎形式の中では杭基礎の場合が固有振動数は最も高く、3本の独立ベタ基礎の場合が最も低くなっている。これは杭の剛性が寄与しているためであろう、これに対して減衰定数は3本の独立ベタ基礎の場合が一番大きく、杭基礎の場合は小さくなっている。減衰定数も基礎形式で微妙に変化している点に興味深い。

次に、1971年サンフェルナンド地震の際のS90W記録(最大加速度0.11G)を入力とした地震応答解析結果の1例が図一四である。この図は、地盤のせん断弾性波速度Vsが180m/sec程度の場合に建物に生じる最大応答変位および最大せん断力を示したものであるが、杭基礎を用いた場合には、ベタ基礎を用いた場合や基礎下端を固定した場合(動的相互作用の効果を無視した場合)

図一五 解析モデル



図一四 基礎形式による最大応答値の比較 (Vs=180m/secの場合)



よりも建物に生じるせん断力が小さいことがわかる。ただし、このような傾向は、地盤の剛性によって変化するようである。

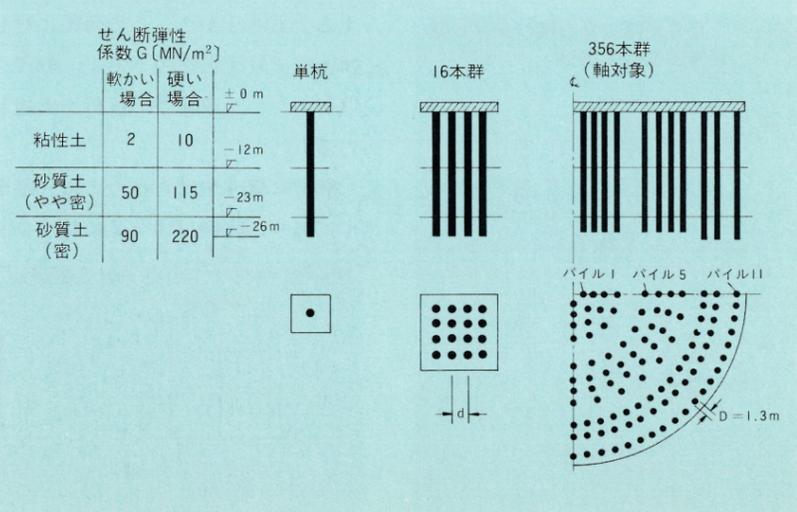
### 3. 動的群杭効果

群杭効果に関して、弾性波動論に基づき近年かなり詳細な解析が可能となってきた。たとえば、Waasらは図一五に示すような解析モデルを用いて、群杭の動的ばね係数を検討している。いま、単杭の静的ばね係数を $K_1$ 、 $n$ 本の杭より成る群杭の動的ばね係数を $K_n^x$ とし、群杭効果を表わす群杭係数 $\alpha$ を次のように定義する。

$$\alpha = K_n^x / (nK_1^x) \quad (2)$$

Waasらが試算の対象としたのは、図一六に示すように、単杭、16本杭、356本杭(ともに、杭径 $D=1.3$ m、平均杭間隔 $2.5D$ )から成る3種類の杭基礎

図一六 解析対象とした単杭および群杭モデル



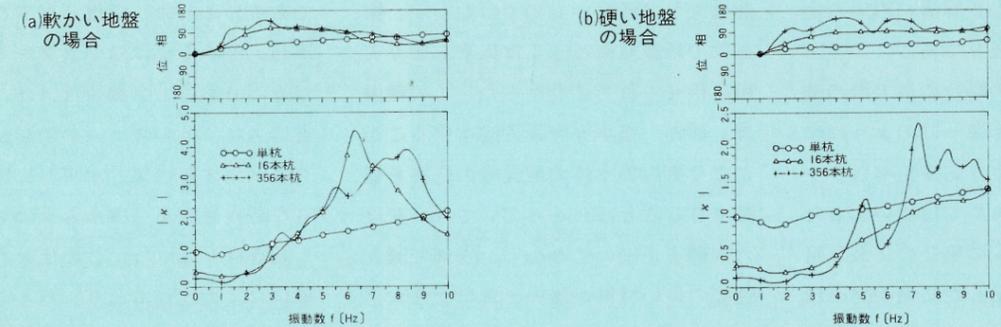
である。地盤条件としては、地表面下50mに基盤があり、その上に粘性土、砂質土から成る表層地盤がある場合を取り挙げている。表層地盤の固有周期は0.7Hz(軟かい地盤)、1.3Hz(硬い地盤)の2種類としている。

図一七は、式(2)による群杭係数 $\alpha$ が振動数 $f$ によってどのように変化するかを示したものである。単杭の場合には、群杭係数 $\alpha$ は振動数 $f$ によってあまり大きく変化しないが、群杭の場合には $\alpha$ は振動数によって大きく変わる。また、これを3種類の杭基礎間で比較すると、たとえば、軟かい地盤の場合は静的( $f=0$ )を含め、振動数が約3Hz以下の領域では群杭(16本杭、356本杭)の $\alpha$ は1よりも小さいのに対し、振動数が3Hz~9Hzの範囲では群杭の $\alpha$ は1よりも大きい値をとるこ

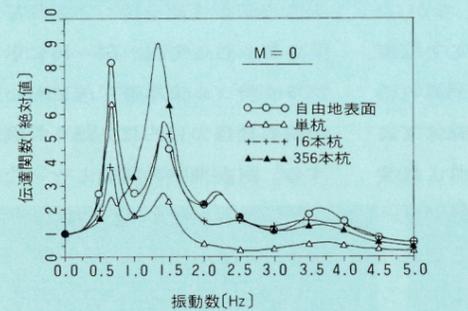
とが注目される。これは、このような振動数の範囲では、群杭としての動的ばね係数はこれと同数の単杭の静的ばね係数の単純和よりもむしろ大きくなることを意味している。

図一八は基盤に対する自由地表面(杭の影響を受けない程度に杭から離れた点における地表面)および杭頭の伝達関数(基盤の振動振幅を1とした場合に、地表面もしくは、杭頭の振動振幅がどの程度になるかを振動数ごとに示したものを)を構造物の質量が0という条件(これを一般にKinematic Interactionと呼ぶ)で求めた結果で

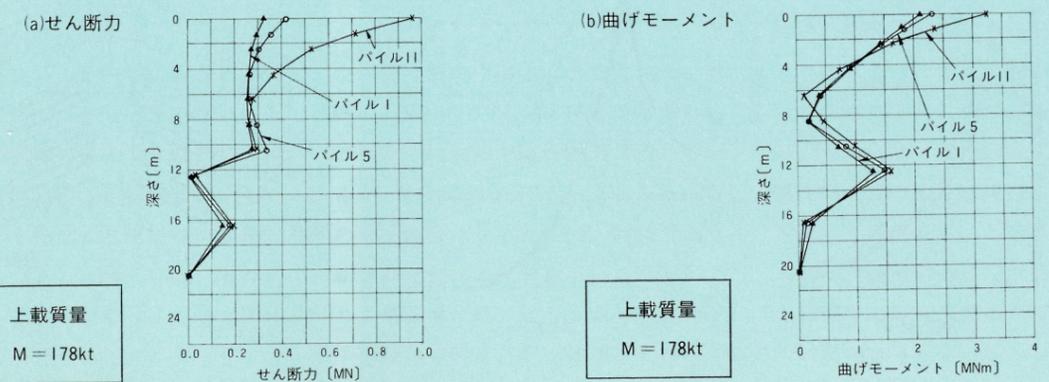
図一七 群杭係数比の試算結果



図一八 基盤に対する自由地表面および杭頭の伝達関数



図一九 356本杭基礎の場合の杭に作用する最大せん断力および最大曲げモーメント(杭位置は図一六参照、硬い地盤で、 $f=1$ Hzの場合)



ある。これによれば、単杭では杭頭の動きは自由地表面の動きとほぼ同じであり、杭は周辺地盤と同じように振動するとみることができる。これに対し、群杭の場合には杭頭の動きは自由地表面の動きとかなり異なっており、群杭になると周辺地盤とある程度独立した振動をすることを示している。

それでは、356本杭の場合には、どの位置の杭に最も大きな断面力が生じるかを示した結果が図一九である。検討対象とした杭の位置は図一六に示した通りである。これによれば、外周にある杭ほど、曲げモーメント、せん断

力ともに大きくなる傾向をみることができる。

### 4. 隣接する構造物の影響

近年、既存構造物の直近に新しく構造物を建設しなければならない事例が増えているが、構造物が近接した場合の相互の影響は地震時にどの程度あるであろうか?。Fuらは、動的サブストラクチャ法を用いることにより、近接建物の動的応答に関し次のような解析を行っている。

解析対象としたのは、図一十に示すように、10階建のビルどうしが近接した場合(ケースa)および10階建のビ

図一十 近接建物の影響

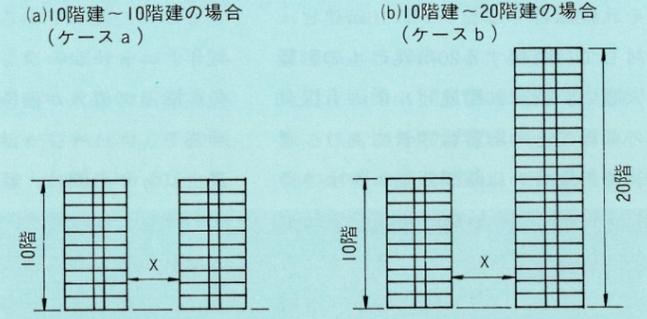


表-1 解析に用いた諸定数

建物	20階建ビルの固有振動数(構造物単独) $F_{20}$	1.47Hz
	" (地盤との速成系) $F_{20}$	0.45Hz
	10階建ビルの固有振動数(構造物単独) $F_{10}$	2.11Hz
	" (地盤との速成系) $F_{10}$	0.90Hz
地盤	構造減衰	4%
	せん断弾性波速度	100m/sec
	粘性減衰	10%

ルと20階建のビルが近接した場合(ケースb)の2ケースであり、ビル間の離間距離  $x$  を3m、9m、15m、無限大と変化させている。地盤は半無限粘弾性体、建物は骨組構造物として、それぞれ、モデル化し、解析に用いた定数は表-1に示す通りである。

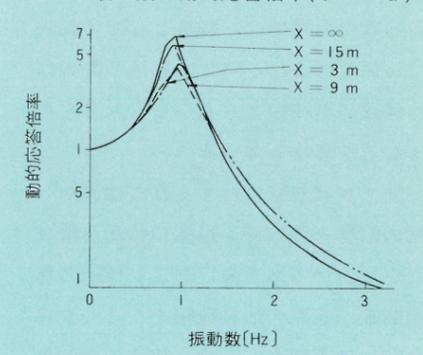
まず、ケースaの場合の最上階の動的応答倍率を示すと図-11のようになる。離間距離  $x$  により応答倍率は多少変化すが著しいものではない。これに対して、ケースbの場合の、最上階の動的応答倍率を示した結果が図-12である。これによれば、20階建ビルに対しては、隣接する10階建ビルの影響はそれ程顕著ではないが、10階建ビルに対しては隣接する20階建ビルの影響は大きい。特に20階建ビルの固有振動数の前後でその影響は顕著であり、また、その度合いは離間距離  $x$  が小さく

なるとともに大きくなる。

### 5. 免震構造

適当な減衰部材を用いることにより、構造物の地震時応答を低下させようという免震構造(Base Isolation)の概念は決して新しいものではないが、構造物の地震対策としては従来あまり実用に供せられてこなかった。この理由は、基礎、支承等を弾性的にすることにより構造物本体の地震時の応答を低減できることはわかっていても、変位の制御を正確にできない、安価で減衰性能の良い材料が無い、風により大きな変位が生じる場合がある等の理由により、実用的で信頼性の高い設計ができなかったためである。しかしながら、近年、ニュージーランドを中心として、免震構造の導入が積極的に進められつつあり、ニュージーランドではすでに過去10年間に、建築物2件、煙突

図-11 最上階の動的応答倍率(ケースa)



1件、橋梁17件、計20件に対して免震構造の施工実績があるとされている。

ニュージーランドでよく用いられているのは、図-13に示すような鉛プラグ付ゴム支承(Lead-Rubber Bearing)である。これは、鋼板とゴムを互層に重ね、その中央に鉛プラグを差し込んだものである。上載荷重はゴムにより支持され、その際ゴムの変形が鉛プラグを拘束する結果、水平力に対して大きな減衰性能を発揮するものである。

減衰材としては、この他にも各国で独自に工夫されており、たとえば、図-14は熱間加工した軟鋼をV型に加工したものであり、図-15に示すように大きな減衰性能を持つとされている。

さて、ここでは、図-13に示した鉛プラグ付ゴム支承を米国において橋梁の耐震補強の目的に応用した例を紹介する。耐震補強の対象となったのは米

図-14 U字型リング(Double Yield Ring)

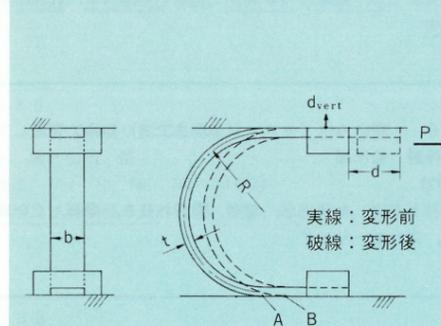
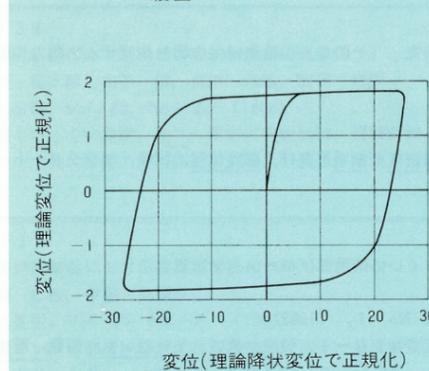


図-15 水平変位を受けた場合のU字型リングの履歴



国カリフォルニア州内の高速道路に架かる橋長185m、幅員35m、斜角60度の連続斜鉄桁橋であり、合計27本の独立したRCベント橋脚(高さ7.5m)により支持されている。この橋はカリフォルニア州道路局の旧基準により設計施工されたものであるが、新基準によれば本橋は0.6Gの加速度に耐えなければならない。しかしながら、現状ではこの1/4以下の加速度しか設計に考慮されていないこと、RC橋脚のじん性が小さくねばりが期待できないことから通常の耐震補強法では非常に大規模な補強工事になると判断されたために、鉛プラグ付ゴム支承の採用が検討されたものである。図-16は、既存の鋼製支承を鉛プラグ付ゴム支承で置換した状況を示している。

鉛プラグ付ゴム支承を用いた効果を

図-16 鉛プラグ付ゴム支承を用いた橋梁の耐震補強の例

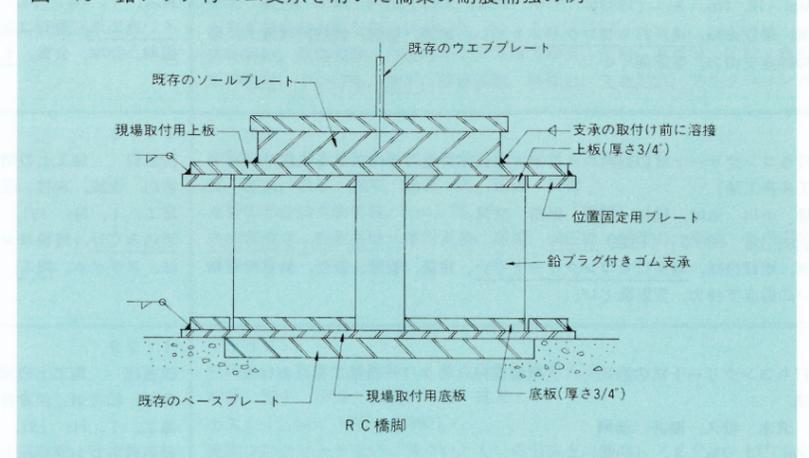


表-2 プラグ付ゴム支承を用いた橋の非線形地震応答解析結果

応答量	入力地震動(最大加速度 0.6G)					5波の平均
	ElCentro	Taft	Olympia	Caltech A 1	Caltech A 2	
最大変位 [inch]	6.44	9.73	7.20	3.71	7.77	6.97
最大水平力 V [kips]	1,728	2,388	1,763	1,116	1,870	1,773
V/W	0.20G	0.27G	0.20G	0.13G	0.21G	0.20G
橋脚に生じる最大水平力 $V_{max}$ [kips]	53.7	74.2	56.0	34.1	58.9	55.4
$V_{max}/V_n$	1.06	1.49	1.10	0.69	1.15	1.10
$V_{max}/V_0$	0.65	0.92	0.68	0.42	0.71	0.68

注)  $W$ : 自重,  $V_n$ : 橋脚の公称水平力,  $V_0$ : 橋脚の終局水平力

確認するために、この部分をバイリニアの履歴特性でモデル化した橋梁全体系の地震応答解析が行われた。5種類の入力地震波(最大加速度0.6G)を用いた動的解析の結果は表-2のようになり、鉛プラグ付ゴム支承を用いることにより橋に作用する震度  $V/W$  ( $V$ : 最大水平力,  $W$ : 自重) 0.2G程度とおおむね現在本橋が有しているレベルにまで低下することがわかった。また、各橋脚に作用する水平力  $V_{max}$  を橋脚の公称水平力  $V_n$  および終局水平力  $V_0$  でそれぞれ割った値も表中に示しているが、これによれば  $V_{max}/V_n$ 、 $V_{max}/V_0$  の平均値はそれぞれ1.10、0.68であり、鉛プラグ付ゴム支承を用いることにより、新基準に対しても本橋の耐震性が十分確保できることが確認された。

### 6. まとめ

以上、第8回世界地震工学会議で発表された海外の研究成果をもとに、基礎の耐震設計に関連した話題を御紹介させていただいた。本文では詳しく触れなかったが、弾性波動論に基づく各種の形式の基礎の動的ばねおよび減衰特性のモデル化が増々詳細に行なえるようになってくるとともに、地盤および構造物の非線形挙動をできるだけ忠実にモデル化しようとする非線形地震応答解析が急速に普及しつつある点が興味深い。今後、こうした研究成果を背景に、構造物をどのように解析するかに重点を置いた研究から、どのような構造型式がより耐震的もしくは免震的に有利かに関する研究に重点が移行してくるものと期待される。

図-12 最上階の動的応答倍率(ケースb)

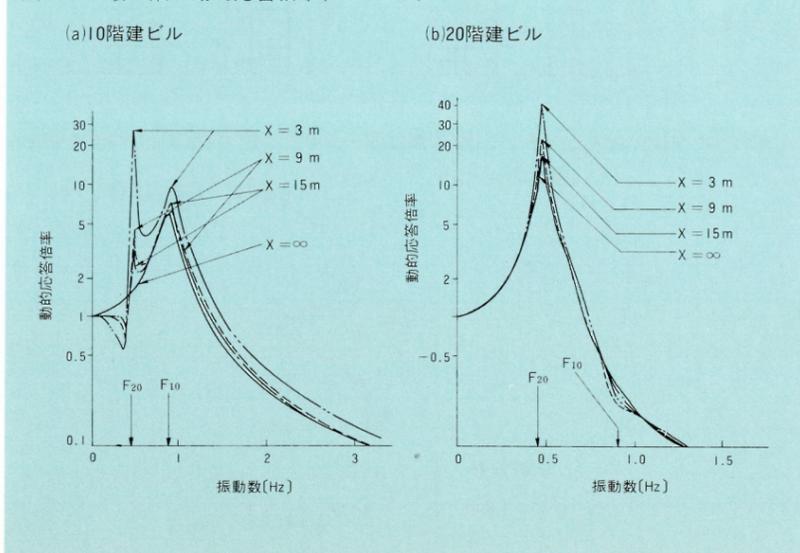
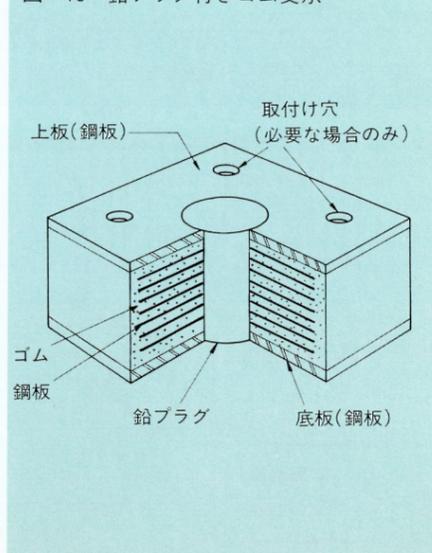
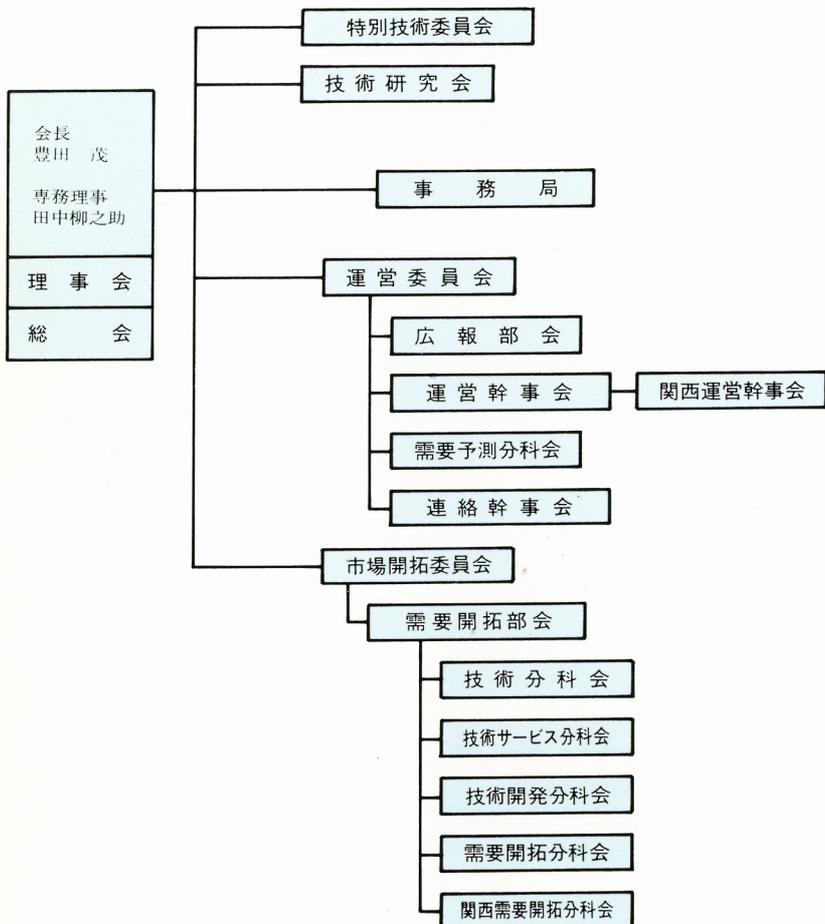


図-13 鉛プラグ付きゴム支承



# 鋼管杭協会組織図 (昭和59年11月30日現在)



## 会員会社鋼管杭製造工場所在地 および設備 ( )内は設備

<b>株式会社吾孺製鋼所</b> 千葉製造所：千葉縣市原市姉ヶ崎海岸7-1 〔スパイラル〕
<b>川崎製鐵株式会社</b> 知多工場：愛知県半田市川崎町1-1 〔スパイラル, 電縫管〕 千葉製鉄所：千葉市川崎町1番地 〔U.O.E.〕
<b>川鉄鋼管株式会社</b> 千葉市新浜町1番地 〔スパイラル, 板巻〕
大浜工場：大阪府堺市築港南町10 〔スパイラル〕 市川工場：千葉縣市川市高谷新町4 〔スパイラル〕
<b>新日本製鐵株式会社</b> 君津製鉄所：千葉県君津市君津1 〔スパイラル, U.O.E.〕 光製鉄所：山口県光市大字島田3434 〔電縫管〕 八幡製鉄所：北九州市八幡区枝光町1-1-1 〔スパイラル〕
<b>住友金属工業株式会社</b> 和歌山製鉄所：和歌山市湊1850 〔電縫管, U.O.E.〕 鹿島製鉄所：茨城県鹿島郡鹿島町大字光750 〔U.O.E.〕
<b>住金大径鋼管株式会社</b> 本社工場：大阪府堺市出島西町2 〔板巻, スパイラル〕 鹿島工場：茨城県鹿島郡神栖町大字東深芝14 〔スパイラル〕
<b>東亜外業株式会社</b> 神戸工場：神戸市兵庫区遠矢浜町6-1 〔板巻〕 東播工場：兵庫県加古郡播磨町新島14 〔板巻〕
<b>西村工機株式会社</b> 兵庫県尼崎市西長州東通1-9 〔板巻〕
<b>日本鋼管株式会社</b> 京浜製鉄所：横浜市鶴見区末広町2-1 〔電縫管, U.O.E. 板巻〕 福山製鉄所：広島県福山市鋼管町1 〔U.O.E. スパイラル〕

### 「明日を築く」

(広報部会、編集チーム委員)

#### 編集関係者のご紹介

#### 広報部会

- 委員長 小林健二(久保田鉄工)  
委員 小泉 勲(日本鋼管)  
" 田幡隆英(住友金属工業)  
" 神崎 和(川崎製鐵)  
" 横山元信(新日本製鐵)  
" 宮崎保春(久保田鉄工)

#### 編集委員会

- 委員長 宮崎保春(久保田鉄工)  
委員 白庭瑞夫(久保田鉄工)  
" 川上圭二(新日本製鐵)  
" 児玉文吾(川崎製鐵)  
" 菅谷典夫(住友金属工業)  
" 高野幸顕(新日本製鐵)  
" 轟 丈詩(日本鋼管)  
" 増田欽一(日本鋼管)

### 鋼管杭協会会員一覧 (50音順)

株式会社吾孺製鋼所	住金大径鋼管株式会社
川崎製鐵株式会社	住友金属工業株式会社
川鉄鋼管株式会社	東亜外業株式会社
久保田鉄工株式会社	西村工機株式会社
新日本製鐵株式会社	日本鋼管株式会社

### 明日を築く No.47

発行日 昭和59年11月30日発行

発行所 鋼管杭協会

東京都中央区日本橋茅場町  
3-2-10(鉄鋼会館) 〒103  
TEL 03 (669) 2 4 3 7  
制作 株式会社 ニューマーケット  
東京都新宿区三栄町20-3  
〒160 (新光オフィソーム)  
TEL 03 (357) 5 8 8 8  
(無断転載禁)



**鋼管杭協会**