

明日を築く52

REPORTAGE

東北三県の物流基地を

目指す重要港湾

福島県相馬港

鋼管杭セミナー

杭の打止め管理式について

(その3)

海を渡る钢管杭③

上海高層化時代を支えて

上海展覧館プロジェクト



钢管杭協会機関誌

東北三県の物流基地を目指す重要港湾

福島県相馬港湾建設事務所



もくじ

●ルポルタージュ②	1
東北三県の物流基地を目指す重要港湾	
●西から東から	5
●鋼管杭セミナー	6
杭の打止め管理式について——道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編一(その3)	
●海を渡る鋼管杭③	15
上海高層化時代を支えて	
●文献抄録	21
組織図・会員紹介	

表紙のことば

港湾は、日本のような島国にとっては、なくてはならない重要な機能である。そして、港湾を中心としてそれを囲む地域にも、さらに大きな意味を持っているのである。それは、地域の活性化である。

今号のルポルタージュの舞台、福島県・相馬港は、地域経済をはじめとするさまざまな面において、その活性化の鍵を握っているといえるだろう。エネルギー基地としての役割も担う同港のプロジェクトにおいて、鋼管杭が活躍している。

編集MEMO

4月の声を聞くと、世間もなにやらざわついてくるようです。「明日を築く」52号をお届けします。

今号では、福島県・相馬港のルポルタージュと、「杭の打止め管理式について・その3」(鋼管杭セミナー)、さらに上海で活躍する鋼管杭の姿(海を渡る鋼管杭)をお届けします。じっくりとお読みください。

なお、本誌に対するきたんないご意見をお待ちしています。

日本の国土は、ご承知のとおり数多くの島によって構成されている。その数およそ4,000、面積約4,000万km²、周囲は約3万kmといわれる。国土面積に対し、海岸線が驚くほど長い。また島のほとんどは、中央部に山脈が走り、可住地は海岸線に集中することになる。この地理的条件に加え、資源の海外依存度の高さを考慮すれば、日本の主要都市の多くが臨海部に形成されているのは、極めて当然の結果といえるだろう。そして、臨海部において港湾機能

が重要な役割を担うのも、また当然のことなのである。

日本には、東京、名古屋、大阪、神戸など、外国貿易の増進上特に重要な特定重要港湾が18港。国の利害に重要な関係を持つ重要港湾が114港。地方の輸送や開発に必要な地方港湾が879港。その他小港湾83港、合わせて1,094港ある。これらは「港湾法」の適用を受けて建設されたもので、「漁港法」の適用を受けたものは、全国に2,917港ある(数字は昭和60年度)。この多くの

港それが、国のあるいは地方の、経済、文化、社会を支えている。今号でスポットを当てた福島県相馬港湾建設事務所が推進するのは、地域経済の活性化を課題とする港湾整備の一例である。物流基地として、さらにエネルギー基地として、新しい時代の要求に対応する港湾機能の姿を、ここに見ることができるのではないだろうか。

福島県の北の玄関口——相馬

福島県は、地形上3つに分断されている。県内を縦走する奥羽山脈と阿武隈山系により、太平洋側から、浜通り、中通り、会津に分けられているのだ。

相馬市は、浜通りにある。福島市からでも、仙台市からでも約50kmの距離。福島県の北の玄関口ともいわれる。ちなみに、相馬と同じく重要港湾を擁する小名浜が、南の玄関口になるのである。

相馬の名は、昨年(1986年)放映されたNHK朝の連続テレビ小説「はね駒」の舞台として、記憶に新しい。また、だれもが一度は聞いたことがあるといわれるほど数多くの、相馬民謡でも有名だ。相馬流れ山、相馬二編返し、相馬盆唄など、その数20余り。「民謡の宝庫」、あるいは「民謡の古里」と例え、

られるだけのことはある。そして、国の重要無形民族文化財である「相馬野馬追」。毎年夏に開催されるこの祭りは、壮麗な行列、勇壮果敢な神旗争奪戦など、華やかな戦国絵巻を現代によみがえらせ、多くの観光客を集めている。

相馬市の東は太平洋に面し、今回訪れた相馬港がある。そのやや西寄りに、日本百景に選ばれた松川浦。昔から松川浦十二景として知られ、現在ではその一帯が県立自然公園に指定されている。松川浦を囲むようにして、北へ細長く伸びる大洲の先端、鶴の尾岬からは、阿武隈山系をバックに、自己昇降式作業台船を見ることができる。

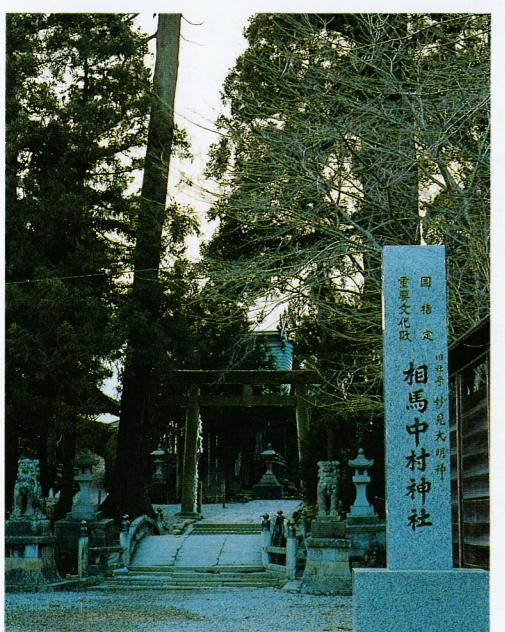
原釜港から重要港湾へ

相馬港は、福島県常磐沿岸の最北端

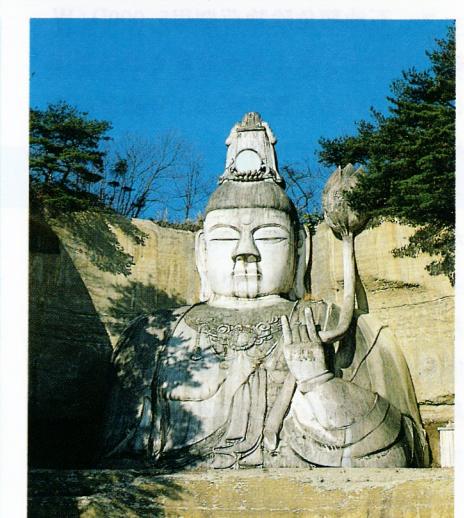
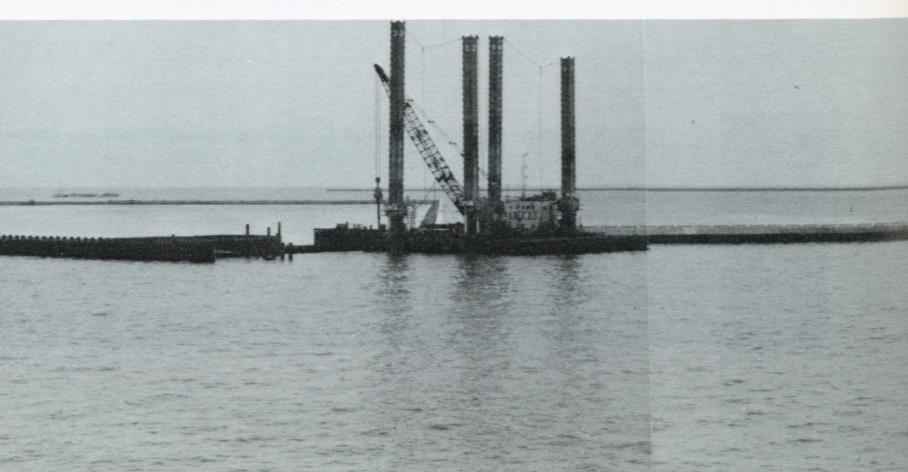


に位置している。相馬・双葉地域(相双地域と呼ばれる)、福島市を中心とする県北地域、さらに山形県米沢市および宮城県白石市・角田市を中心とする両県の一部の物流基地として、また相馬地域開発の拠点として重要な役割りを担っている。

ここで簡単に、同港の歴史をたどってみたい。同港はかつて「北湊」、または「原釜港」と呼ばれ、仙台湾を望む豊富な漁場の基地、そして避難港としても多数の帆船が出入りしていた。元和2年(1616年)頃から製塩が盛んになり、江戸時代には塩や藩租米の積出港として交易が盛んだったという。本格的な整備は、昭和34年、「相馬地方における港湾計画の構想ならびにこれに関する経済開発計画」の委託調査から始まる。昭和35年1月、地方港湾に指定され、「相馬港」と名称を改めた。36年から、広域勢力圏の流通港湾を目指した整備に着手。昭和49年には、流通港湾としての重要性が認められ、重要港湾に指定された。その後も着々と整備が進み、59年までに、けい留施設11バース、野積場161,540m²が完成している。取扱貨物量は、セメント、木材、鉄鋼、バルプの輸移入を主とし、昭和53年には60万トンを突破した。外航船も、昭和50年に第1船が入港して以来年々増加し、着々と港湾機能を充実させつつある。



中村神社



百尺觀音



「電源地帯工業団地」への期待

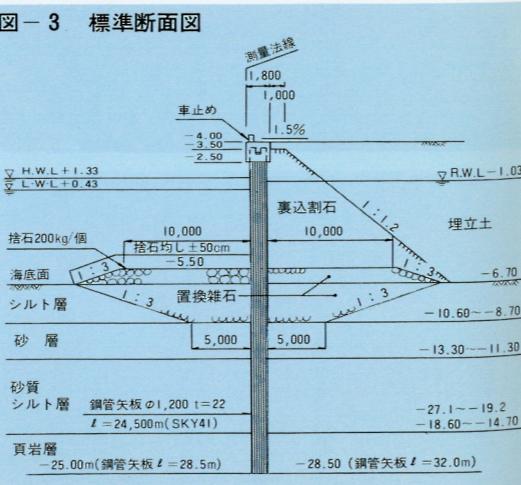
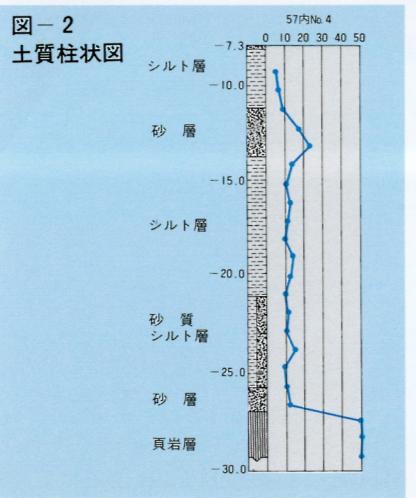
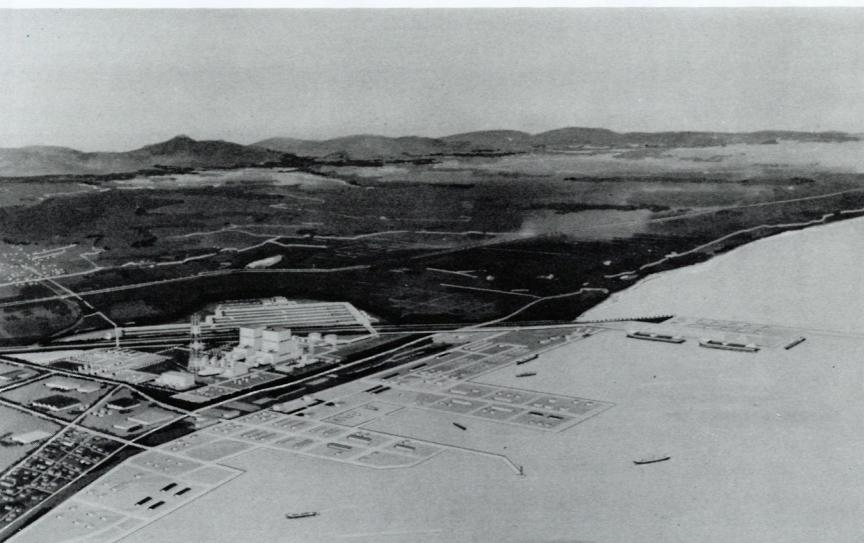
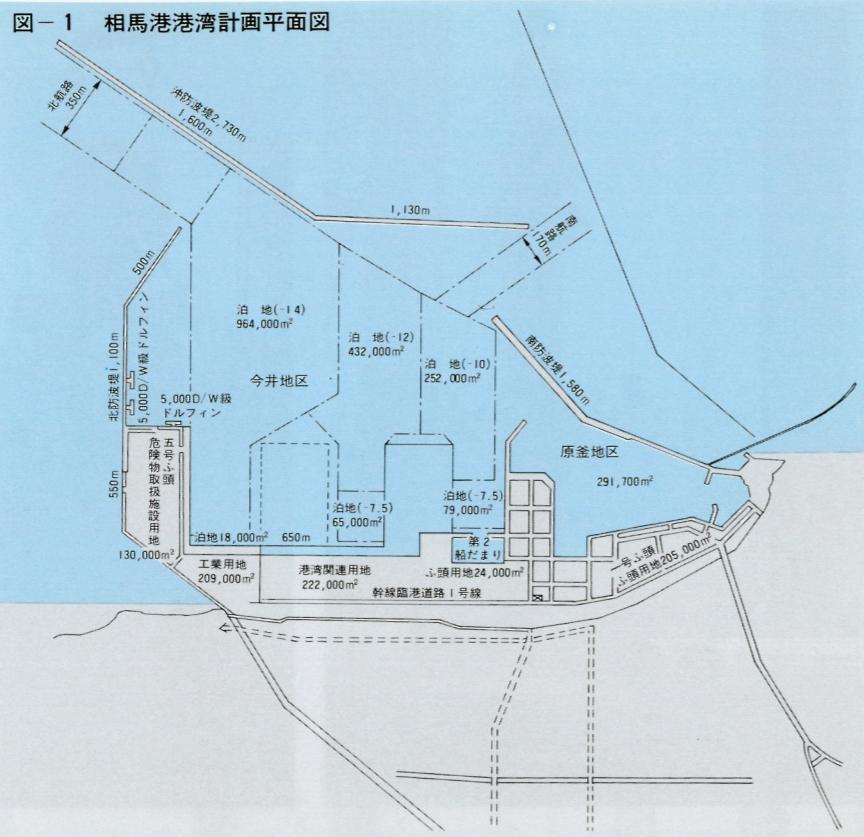
今後の整備計画は、同港の背後地を中心に工業開発を目的とする「相馬地域開発基本計画」に添って進められる。すでに立地の決定した石炭火力発電所(100万kw 2基)の石炭等を取り扱う、エネルギー港湾としての機能。さらに背後工業団地および福島県北部地域を中心とする経済圏域への物資流通の拠点として、商港機能に重点を置いた港湾整備が進められている。

以上の計画に基き、現在整備が行われているのが5号ふ頭だ。ここには、前記発電所の付帯施設として、石炭の荷揚用60,000D/W級×2バース、石灰石、石こうの取扱用3,000D/W級×2バース、石油類危険物荷捌用5,000D/W級ドルフィン×1基が設置される予定になっている。発電所の1号機運転開始は、昭和69年10月を目標にしており、そのために約30haの工業用地埋立造成が行われる。相馬港のふ頭工事では、この5号ふ頭が最も規模が大きい。これを見ても、火力発電と工業用地を一体化した「電源地帯工業団地」への福島県の期待が伝わってくるような気がする。

ふたつの工法を併用する新工法

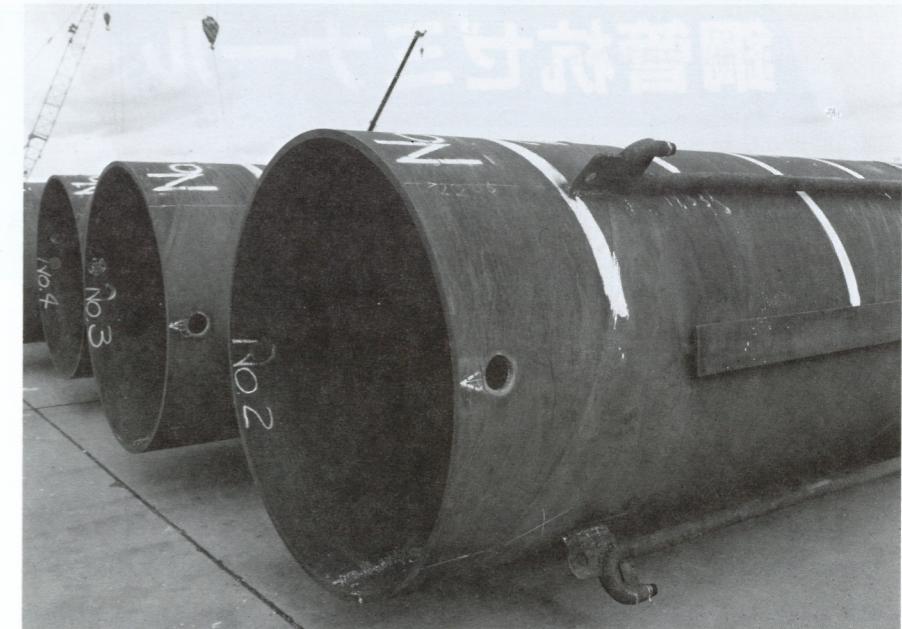
相馬港の地層は、海岸沿いに、宮城县に向かって帶状に走る新第三紀層を基盤に、平地、低地に沖積層が堆積している。この新第三紀層は、シルト層あるいは砂質の凝結度の低い凝灰岩から成り立っている。钢管杭は一部軟弱地盤に打ち込まれるので、杭打ち後、基礎捨石や裏込割石などが置かれる。

杭打ち作業は、昭和59年11月から60年3月までの第1期、60年5月から61年3月までの第2期。61年6月から62年3月までが第3期工事として作業が



進められている。

また、(-14.0m)護岸と(-6.5m)護岸は、 $\phi 1,200 \times 19-22 t \times \ell$ (18.0~32.0m)の自立式钢管矢板構造で、岩盤への根入れが大半となるため、打込み工法は、ウォータージェット(高圧ホース4本)と低周波バイブロハンマー(出力150kw、偏心モーメント25,000kg·cm)との併用工法が採用されているのが目新しい。さらに打設は、波浪の影響を受けずに作業ができるように、自己昇降式作業台船が活躍し、施工性を向上させている。



ここで使用された钢管杭は、
 $\phi 800 \sim 1,200 \times 12t \times \ell$ (18~31.5m)
約11,100トン
である。

港湾機能の整備と同時に、各種運動施設を含む緑地などの建設により、市民との交流の場を積極的に取り入れ、

広い視野で計画されたこの相馬港のプロジェクトは、これから求められるにちがいない都市と港湾の新しい関係を、われわれに提示してくれるかのようである。日本の港湾が進むべき道のひとつの例を、この港に見ることができるのである。

西から東から

●「建築用钢管杭施工指針・同解説」発刊

当協会では、昭和61年9月、「建築用钢管杭施工指針・同解説」を発刊した。同書は、昭和46年10月に社団法人鋼材俱楽部が発刊した「建築用钢管ぐい施工指針・同解説」の内容を改訂したもの。主な改訂内容は、(1)JASPP型防音カバーの実用化(2)油圧ハンマの普及(3)中堀り工法の確立(4)現場円周溶接の品質管理の向上(5)杭頭接合法の調査研究(6)スリップ・レイヤー(SL)杭の標準化(7)腐食防食に関する調査研究。

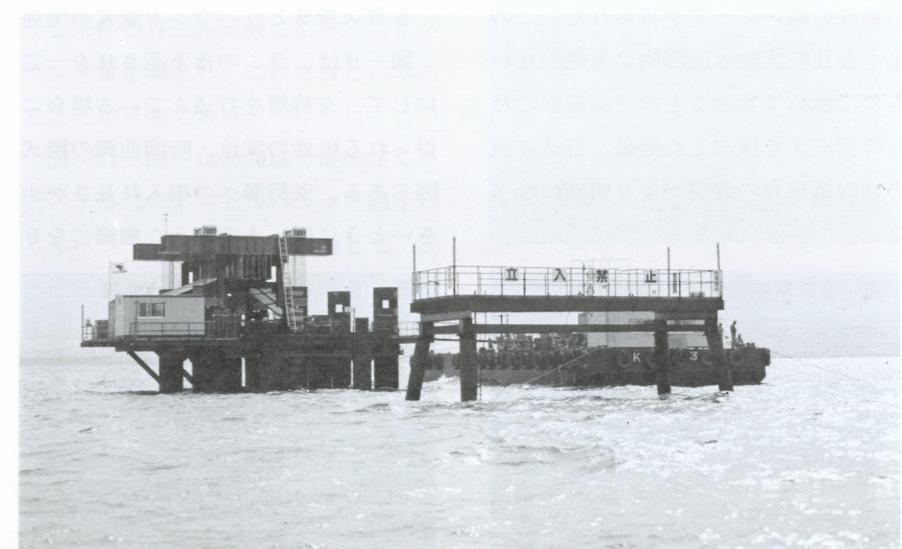
●中国「深い基礎」国際会議班報告書を作成

昭和61年、中国北京市において中国の総合勘察院と米国のDFI(Deep Foundation Institute)共催による「深い基礎」国際会議開催にともない、当協会では8月31日から9月12日の日程で、技術調査団を派遣した。钢管杭メ

一カー5社、藤田圭一博士、山肩邦男関西大学教授から成る調査団の活動報告が、「中国『深い基礎』国際会議班報告書」である。

●関西新空港連絡橋钢管杭載荷試験を実施

当協会は、関西国際空港(株)より「空港連絡橋钢管杭載荷試験」を受注した。



钢管杭ゼミナール

杭の打止め管理式について—道路橋示方書・同解説IV下部構造編—(その3)

東海大学 宇都一馬 冬木 衛

3. 打止め管理式における第1項の妥当性の検討¹²⁾

筆者らは、杭打ち時に生じる種々の現象を波動論的見地から取り扱った一連の研究を行い、波動理論に基づいた杭の打止め管理式をすでに提案した。さらにこれに種々の検討を加え、実用に供する場合の問題点を指摘してきたが、必ずしも満足な対応がとれていない。今までこれらの問題点を改善し得なかったのは、同算定式の使用頻度が少ないとや、検証に耐え得る信頼性の高いデータが少ないことなど、容易に解決し難い事項が多かったためであった。

幸いなことに、2. で述べたように、従来から使用されているディーゼルハンマと数種類の低騒音型油圧パイルハンマによる杭の打込み比較実験が同一地盤で、種々の杭種について行われ、信頼性の高いデータが得られた。このような比較実験は国際的にも例がないもので極めて貴重なものである。これらのデータを検討した結果、打込み杭の動的抵抗力の発現がより明確になった。

図-9 杭頭の変位・時間曲線

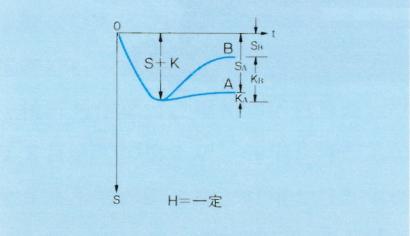
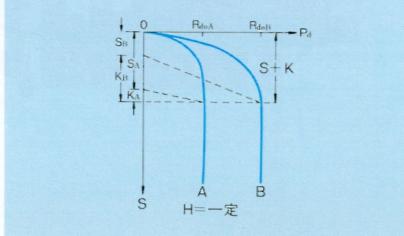


図-10 杭頭の動的Pd-S曲線



貫入量 S_A が大きく、リバウンド量 K_A が小さく観測される。これに対して、根入れ長さが次第に大きくなると B のような曲線になり、貫入量 S_B が小さく、リバウンド量 K_B が大きく観測される。しかし、最大変位量 $S + K$ の値はこれら 2 つの曲線ともほぼ同じ大きさに観測される。この $S + K$ の値は、ハンマの貫入能力と密接な関係があることが予測される。

これらの図から、杭頭の動的 $P_d - S$ 曲線を推定すると図-10 のようになる。すなわち、支持層への根入れ長さが小さいときには、A のような動的 $P_d - S$ 曲線となり、動的先端抵抗力 R_{doA} が小さいことになる。これに対して、支持層への根入れ長さが次第に大きくなると、B のような $P_d - S$ 曲線になり、 R_{doB} の値が大きくなってくる。

したがって、ラムの落下高さを一定にして杭の先端が支持層へ到達してからリバウンド測定を行い、図-11 に示すように支持層への根入れ長さに対しても貫入量 S 、リバウンド量 K 、両者の和 $S + K$ などをプロットすると、支持層への根入れの過不足が判定できるので、合理的な根入れ長さの決定ができる。図-11 は支持層への根入れ長さ決定のための管理図ともよぶべきものであって、これによれば過剰打撃による杭本体およびハンマの破壊を防止でき、さらにはばらつきの少ない先端支持力を有する杭基礎を施工できることになる。

この手法を用いて鋼管杭約5000本の施工管理を行った実例を 5. で紹介する。

(2) ラムの落下高さ H と貫入量 S 、リバウンド量 K および $S + K$ の値から

図-11 杭の支持層への根入れ長さ決定のための管理図

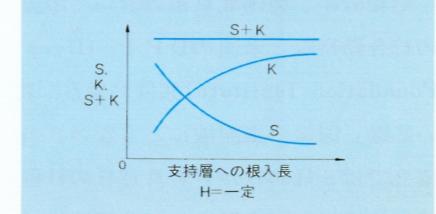
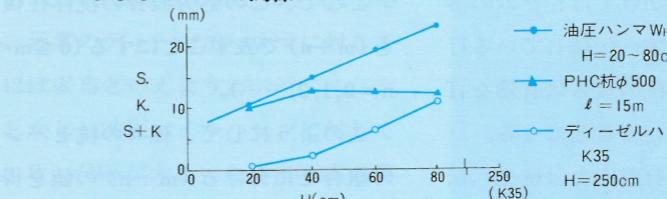


図-12 打止め付近におけるハンマの落下高さ H と貫入量 S 、リバウンド量 K および $S + K$ の関係



推定される動的荷重・変位関係

図-11 で示したように、支持層への根入れ長さの増大とともに、貫入量 S やリバウンド量 K は一定値に収束する傾向にある。

このとき、ラムの落下高さ H を変化させてリバウンド測定を行い、 S 、 K 、 $S + K$ の値を H に対してプロットすると一般に図-12 のようになる。図-12 は、径 500mm の PHC 杭をラム重量 $W_H = 7t$ の油圧ハンマの落下高さを種々かえて打込んだときのもので、さらに、同一地盤で実施されたディーゼルハンマ K35 ($H = 250\text{cm}$) のデータも加えてある。図中では、ディーゼルハンマのデータは、 $-○- \Delta -●-$ の記号で表示してある。

図-12 から、次のことがいえそうである。

- 落下高さが小さく、貫入量が小さいときはリバウンド量も小さい。
- しかし、落下高さが大きくなり貫入量が 2 ~ 3 mm 以上になると、リバウンド量はほぼ一定値に収束する。
- これは貫入量がある値以上になると、先端地盤が破壊され、このときの抵抗力に対応するリバウンドが生じるためと考えられる。

● この値は、落下高さの大小に関係なく、一定値になることが推定できる。

また、図-12 の関係をもとに、図-9 と同様な杭頭の動的変位時間曲線を推定することができる。ラムの落下高さ H をパラメータに描いたものが図-13 である。 H の違いによって、最大変位量 $S + K$ の値に相違がみられる。全体的に貫入状況の違いがよく理解できる。なお、ディーゼルハンマのデータ

$S + K$ の値が、打撃応力の応力レベルとその波長に密接な関係があるためと考えられる。

図-15 は、同一地盤で 6 種類の油圧ハンマ ($W_H = 6.5 \sim 7.2t$) とディーゼルハンマ (K35) について、同様な測定を行い、 S と K の関係をプロットしたものである。杭は PHC $\phi 500\text{mm}$ 、 $\ell = 15\text{m}$ である。貫入量が 2 ~ 3 mm 以上になるとリバウンド量はほぼ一定値に収束し、その値は 13 mm 程度となる。ディーゼルハンマの場合は若干小さめの値となる。

これらの事実から、今回対象とした地盤においては、一打撃の貫入量が 2 ~ 3 mm 以上あればハンマの種類やラムの落下高さに関係なくリバウンド量は一定値になると判定できる。これは、前項でも述べたように、先端地盤が破壊されたときの抵抗力に対応して生じるものであり、打撃エネルギーには関係しないといえる。

PHC $\phi 600$ および PHC $\phi 400$ の杭について、同様の整理をしたものが図-16、図-17 である。これらの図からも、

図-15 贯入量 S とリバウンド量 K の関係

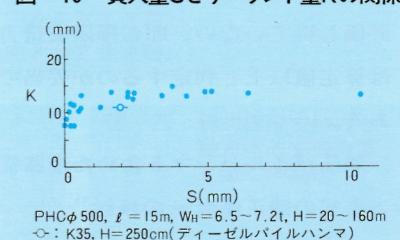


図-16 贯入量 S とリバウンド量 K の関係

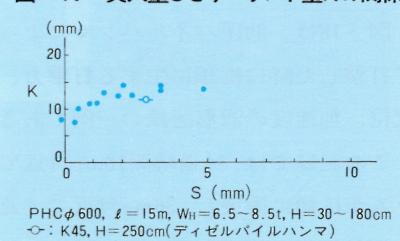
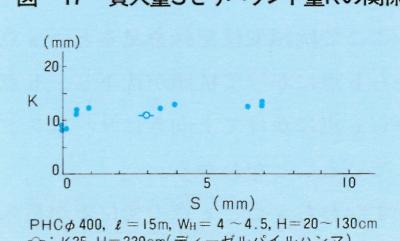


図-17 贯入量 S とリバウンド量 K の関係



前述の図-15と同様なことが結論づけられる。

(3) 打止め管理式の妥当性

波動理論に基づいた杭の打止め管理式における動的先端支持力の項 ((8)式第1項)について、その妥当性を検討した結果およそ次のことが言えそうだである。

●杭の動的支持力は、杭の先端抵抗が支配的である。^{13), 14), 15)}

●杭の先端抵抗力は、打止め時の杭頭のリバウンド量を測定することによって得られる。

●打止め時のリバウンド量は、同一杭種、同一杭径であればハンマの違い、ハンマの落下高さの違いによらずほぼ一定値になる。(2~3mm以上の貫入量がでる場合)

●杭先端地盤の支持力を求めようとする場合には、一打撃の貫入量が2~3mm以上のときに測定されるリバウンド量を用いるといい。

●ほとんど貫入しない状態で測定されたリバウンド量を用いて算定された支持力は、先端地盤の極限支持力を評価し得ていない、即ち極限支持力は算定値以上と判定するのが妥当である。

4. 油圧パイルハンマを含めた道路橋示方書式の補正係数 e_0 の検討^{3), 16)}

4-1 打撃時の杭頭における打撃力、変位、加速度

図-18は、油圧パイルハンマによつて打撃した時に杭頭に生ずる打撃力、変位、加速度の波形記録の一例である。

この記録では、経過時間10ms付近でラムが杭頭に衝突し、36ms付近で一連の打撃行程が終了したことを示している。

ここで杭頭変位記録を見ると、a点からb点にかけて杭頭が沈下し、b点からc点にかけて上向きにリバウンドしていることがわかる。

すなわちa点とc点の変位差が貫入量Sであり、b点とc点の変位差がリバウンド量Kである。

バウンド量Kである。

a点からb点にかけては、ラムの落下エネルギーが杭体へ伝播している行程であり、この間杭の貫入に有効な打撃応力が発生していることになる。

杭頭で発生した打撃応力は杭先へ伝播し、杭先端が地盤へ貫入すると共に地盤の貫入抵抗に相当する上向きの反射応力波を発生する。

この「杭の貫入に有効な打撃応力波」の波長 λ は、(応力の発生時間) × (伝播速度) で求められる。

図-18の場合は、伝播速度Cが、
 $C = \sqrt{Eg/\rho} = 5,120 \text{ (m/s)}$ であるので、
 $\lambda = 5,120 \times 13/1,000 = 67 \text{ (m)}$ が得られる。この応力波長は杭長が16mの範囲にあることがわかる。

また、油圧パイルハンマではラムの重量が相対的に大きいので、(m+n)の値も1.5以上のケースが多くなっていることがわかる。

で杭体を2.1往復する長さに相当する。

ここで、この応力波長の杭体往復数を(m+n)で表すことにする($0 \leq m < 1, n=0, 1, 2, \dots$)。

このようにして、種々の杭とハンマの組合せにおける(m+n)の値を得ることができるが、35例の解析結果を横軸にラム重量と杭重量の比(W_H/W_P)をとってグラフにプロットしたのが図-19である。

この図において右上がりの相関関係があり、概ね次式のように近似することができた。

$$(m+n) = \alpha (W_H/W_P) \quad \dots \dots (9)$$

図より比例定数 α は概ね1.0~1.5の範囲にあることがわかる。また、油圧パイルハンマではラムの重量が相対的に大きいので、(m+n)の値も1.5以上のケースが多くなっていることがわかる。

4-2 応力波が杭体を一往復以上する場合 (W_H/W_Pが大きい場合) の動力学的支持方式の誘導

(1) 基本的な考え方

道路橋示方書式の第1項は主として先端支持力を、第2項は周面摩擦力を表している。第1項は文献7)~11)などにその誘導過程が述べられているが、 $l=\lambda/2$ (すなわち $(m+n)=1$) なる場合を仮定して、 $R_d = AEK/(\lambda/2)$ を導き、 $\lambda/2 = e_0 l$ となるような補正係数 e_0 を設定したものである。ここで、 e_0 は表-3のような値をとる。

図-18 打撃力、変位、加速度記録の例

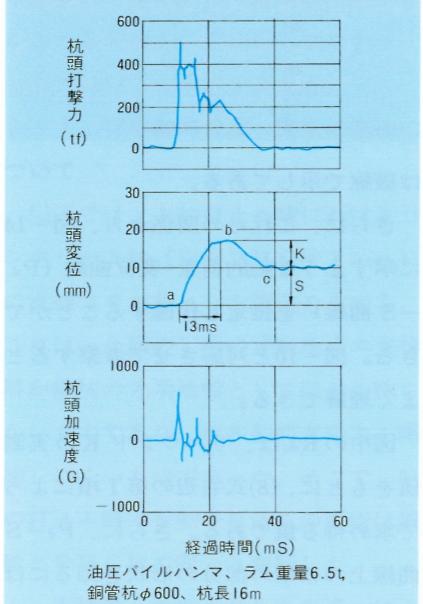
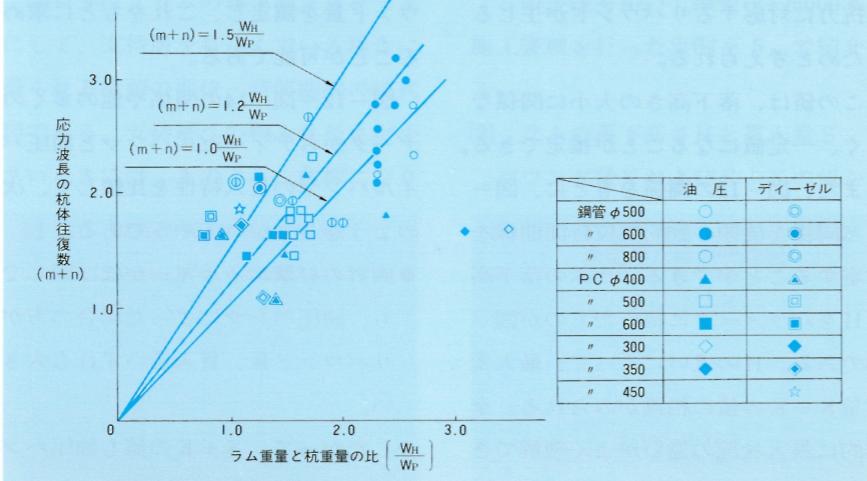


図-19 ラム重量と杭重量の比に対する波長の杭体往復数



誘導時の $l=\lambda/2$ という仮定は安全側であり、 e_0 の設定法も図-19を見るかぎり、通常のディーゼルハンマに対してはほぼ妥当といえよう。

しかし、油圧パイルハンマに対しては、W_H/W_Pが大きいために(8)式の第1項は不経済な算定結果を与える可能性がある。

(2) 支持力式の誘導

そこで、当初より $\lambda=2(m+n)l$ とおき、任意の応力波長に対応できるような支持力式を誘導することにする。

杭頭及び杭先端における変位の時間変化を示したもののが図-20である。図中に記号を示してある。

式の誘導に当たっての基本仮定は次の通りである。

① 杭体を伝播する応力波は一次元波動とする。

② 杭は全長にわたって断面積が等しく材質も均一である。

③ 杭周面の動摩擦力は無視する。

④ 杭頭の応力は、応力波の先頭が杭体を(m+n)往復するのに要する時間 $(m+n)T = 2(m+n)l/c$ 継続して発生する。 $(0 \leq m < 1, n=0, 1, 2, \dots)$

⑤ 杭頭の変位は図-20に示すように打撃後 $(m+n)T$ 時間で最大値 $S + K (= U_{on})$ になり、 $(m+n+1/2)T$ 時間に杭のリバウンド K が生じて一定値となる。

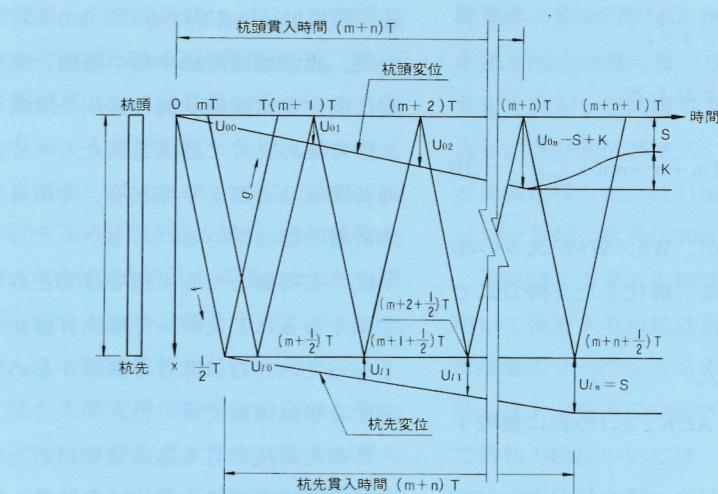
⑥ 杭先の変位は図-20に示すように打撃後 $(1/2)T$ から貫入が始まり、 $(m+n+1/2)T$ で最大値 $S (= U_{in})$ になる。その後はそのまま持続する。

⑦ 杭先端の地盤抵抗力 R_d は、 $(1/2)T$ から $(m+n+1/2)T$ 時間に杭先端に伝播してきた力とつり合い、その値は一定となる。

以上の仮定から、一次元波動方程式を解くと杭先端の地盤抵抗力 R_d は、

$$R_d = \frac{AE}{2(m+n)l} \left\{ 2\left(1 + \frac{1}{m+n} \sum_{i=1}^{n-1} (mn+i)\right) K - S \right\} \quad \dots \dots (10)$$

図-20 杭頭および杭先における変位の時間変化



記号の説明

A : 杭の実断面積 (m ²)	m : S + K の最大値が発生する波と先頭の応力波との位相差
c : 応力波の伝播速度 (m/s)	n : 杭全長を応力波が移動する回数
E : 杭のヤング係数 (tf/m ²)	U : 杭の周長 (m)
e_0, e_r : 補正係数	U_{00} : (m fi) T時間における杭頭変位 (m)
g : 重力加速度	U_{11} : (m fi + l/2) T時間における杭先変位 (m)
K : リバウンド量 (m)	u : 变位 (m)
l : 杭長 (m)	W_H : ラム重量 (t)
N : 杭の周面の平均N値	W_P : 杭重量 (t)
R_u : 杭の極限支持力 (tf)	x : 鉛直方向の座標
S : 贯入量 (m)	T : 応力波が杭体を一往復するのに要する時間 (2l/c) (s)
x : 鉛直方向の座標	λ : 応力波長 (m)
t : 時間 (s)	ρ : 杭の密度 (t/m ³)
	f : 下向きの变位波動
	g : 上向きの变位波動

図-21 応力波長の杭体往復数と e_0 の関係

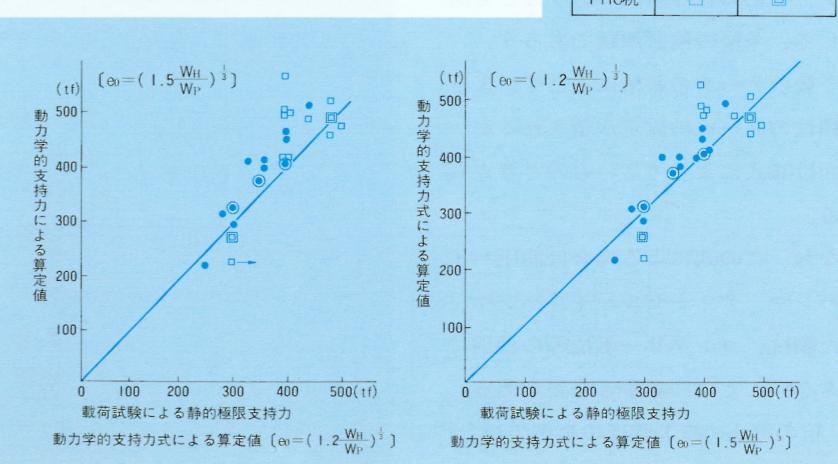
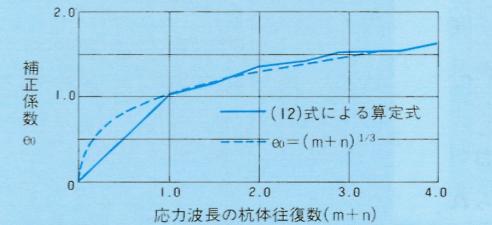


図-22 静的極限支持力と動力学的支持力算定値との関係

題にならない差であり実際の施工では手書きグラフで管理できることがわかった。

図-28に両者の計測結果と各式による耐力の比較を示す。この図から杭の打ち止まり附近における K_s の値は大体 $4\sim 5\text{mm}$ であり、 $S \approx 2K_s$ となっている。実際の工事では K_s をその都度計測するのはかなり困難であるので、 $K_s + K_0 = K$ とおいた全体のリバウンド量 K の値をもって道路橋示方書の近似式((8)式)による方が便利である。今回の試験打ちでは $S \approx 2K_s$ となっているので近似式の方が K_0 、 K_s を考慮した式よりもやや少なめ(安全側)に支持力が出てる。以上の結果から今回の杭打ち工事における打ち止め管理基準を次のように設定した。

- イ) 杭の先端を D_{S3} 層に1m以上貫入させる。
- ロ) 杭長さは15m以上とする
- ハ) 貫入量 $S \leq 8\text{mm}$ で全体リバウンド量 $K \geq 18\text{mm}$ を確認する

他の試験杭56本について上記管理基準をもとに打設した結果を図-29に示す。図中矢印をつけた所が基準値に達した点であり、この点を過ぎると S 、 K はほぼ一定の値に収束する傾向にある。また図中に $S + K$ の値をプロットしているが、これも打ち止まり附近から一定の値で推移している。矢印の点はほとんどがこの収束状態の始点であり柱状図からみても支持層に十分根入れされていることから、この管理基準は適正であると考えられ、これによって過打撃による杭体やハンマの損傷を防ぎかつ支持地盤への貫入性の判定、支持力の均一化など適切な施工管理ができるものとして本杭の打設を行った。

5-4 本杭の打設結果

本杭の打ち込みに際しては打ち止め予定の約5mぐらい前から貫入量、リバウンド量、ラム落下高さを計測した。その結果を図-30に示す。打ち止め位置は上記管理基準値を満足する点であ

るが、この附近に至る前に $S + K$ の値がおむね一定となっており、試験打ちの場合と同じ状態であることを示している。

実際の杭打ち工事では打ち止め近くになっても S 、 K の値は変化しており、仮に管理値を設定してもその値を満足したり越えたりという状態が繰り返される場合が多く、打ち止めを決定するのはかなり難しいものである。今回設定した管理基準値はこれを満たせばただちに打ち止め良いというものであり、管理値としては簡素化され打ち止め管理が容易になったと考えている。

図-28 光学式変位計と手書きグラフによるそれぞれの値の比較図

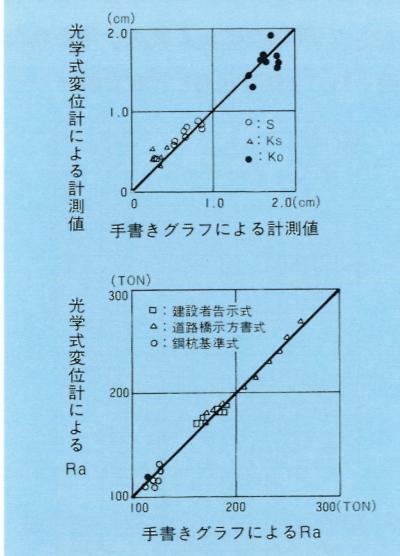


図-29 試験杭施工結果

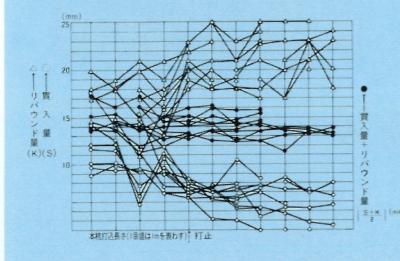
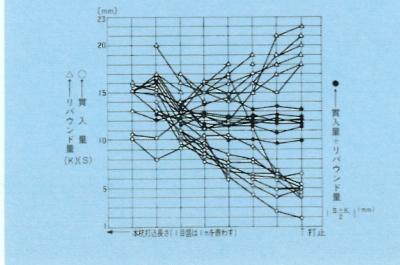


図-30 本杭施工結果



6. 波動方程式による杭打ち管理¹⁸⁾
波動理論に基づいた杭の動的抵抗力で、完成度の高い実用に供されているものには次のようなものがあろう。

- ① Smith, E.A.L. (1960) の数値解析法
- ② Goble, G.G. (1976) の数値解析法 (CAPWAP Method)

- ③ Goble, G.G. (1975) の Case Method

- ④ 道路橋示方書式

- ⑤ その他、数値解析法にはTTI、WEA P、DIESEL-1、DUKFOR、SWEA P、OCEANWAVE、PSIなどがあり、これらは Smith の数値解析法を改良し修正したものである。

道路橋示方書式についてはすでに述べた。以下では、Gobleらの CAPWAP Method などの数値解析法の問題点について、Smith の数値解析法の主要な問題点も含めて述べる。さらに、アメリカを始めヨーロッパで使用されている、波動理論の理論解といわれている Goble らの Case Method の概要とその問題点について指摘する。なお、Smith の数値解析法の基本的な問題点については、文献19)~22)を参照されたい。

6-1 CAPWAP Method (Case Pile Wave Analysis Program) 法²³⁾の問題点

CAPWAP Method は杭の動的挙動の解析法として有名な Smith, E.A.L. (1960) の数値解析法とはほぼ同一である。Smith の解法と異なる点は、杭頭で測定した力と加速度の二つを杭頭の境界値として採用しているところにある。

Smith の解法も含めて CAPWAP Method の主要な問題点を列記する。

これらの数値解析法に用いられている差分式には、波動の媒体の不連続面(例えは杭の先端)において、エネルギーの保存則を満足しない基本的な問題点がある。

そのために杭の先端地盤が硬い支持杭の解析に本手法を適用すれば、この部分でエネルギーが増幅し発散することがしばしば起こる。これを防止する

ためにダッシュボットを付加し、適当にエネルギーの消散を試みている。しかし、これは物理的根拠があつて行われるものではなく、計算上の作為による場合が多い。このように本数値解析法は不安定な一面をもつものになっている。

この解法では波動の伝播速度の取り扱い方に不明確な点がある。すなわち、波動の伝播速度 C は杭のヤング率 E と密度 ρ の二つの材料定数から(17)式で求められる。

$$C = \sqrt{E / \rho} \quad \dots \dots \dots (17)$$

この値を計算上の理由で人為的に操作すべきものではない。しかし、本解析法ではこの伝播速度から一義的に決定される計算時間間隔 Δt を(18)式のように与えており不明確なものとなっている。

$$\frac{T_{cr}}{2} < \Delta t < T_{cr} \quad \dots \dots \dots (18)$$

ここに、

$$T_{cr} = \Delta L / c$$

$$\Delta L : \text{杭 1 要素の長さ}$$

である。

本数値解析法に使用する計算プログラムを検定する場合、一般に杭先端地盤を剛体と仮定した St. Venant 解と比較している。しかし、この検定では、抗先端要素のばねによって支持されている場合のチェックをしているにすぎない。すなわち、先端の地盤ばねが杭体のばねと同じ条件の時の検定を実際に行っているのであって、剛体と仮定した St. Venant 解と比較しえないのである。

本数値解析法には以上のような重要な問題点がある。したがって、本数値解析法を利用するに当たっては、計算プログラムの内容をよく理解した経験豊かな技術者の判断を受ける必要がある。

以上のような理由から本数値解析法を杭体の打撃応力の検討に利用するのをまだ許されるかも知れない。しかし、

以上のような問題点に対する適切な解決がなされないならば、杭先端地盤の抵抗力など地盤に関する定数の検討に本数値解析法を適用するのは時期尚早の感がある。

6-2 Case Method (Case Western Reserve University 法)²³⁾

Case Method は、図-31の測定システムに示すように杭頭にストレインゲージと加速度計を取り付け、Pile Driving Analyser 中の增幅器と積分回路で、測定されたひずみを力に、加速度を速さにそれぞれ変換し、これらの力と速さから杭の動的抵抗力を求める方法である。

この理論では、まず杭を剛体と仮定し、地盤の動的抵抗力 R はニュートンの第二法則に従うとして(19)式で与えている。

$$R = F(t) - m\alpha(t) \quad \dots \dots \dots (19)$$

ここに、

$$F(t) : \text{杭頭の力}$$

$$\alpha(t) : \text{杭頭の加速度}$$

$$m : \text{杭の質量 (W/g)}$$

である。

さらに、この理論を杭の弾性を無視し得ない長い杭(20m以上)にも適用しようとして拡張した。この時、杭は全長にわたり均質なものであり、地盤は理想的な塑性体の挙動を示すものと仮定し、(20)式を誘導した。

$$R = \frac{1}{2} [F(t) + F(t_1 + \frac{2L}{C})] + \frac{mC}{2L} \{ V(t_1) - V(t_1 + \frac{2L}{C}) \} \quad (20)$$

ここに、

$$F(t_1) : \text{打撃直後 } t_1 \text{ に杭頭に生じる最大の力}$$

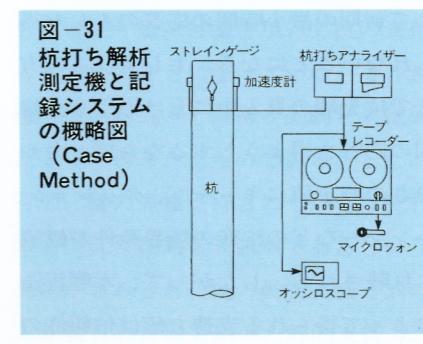
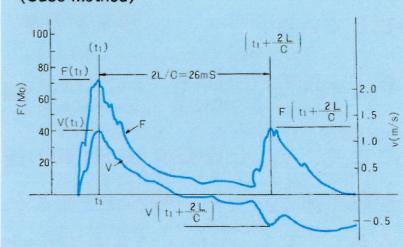


図-32 杭頭応力と速度記録の測定
(杭: 235×235mm, 長さ46m, ハンマ: 油圧自由落下)
(Case Method)



$F(t_1 + \frac{2L}{C})$: 打撃直後の t_1 から応力波が杭全長を往復してきて杭頭に生じた力
 $V(t_1)$: t_1 における杭頭の速さ
 $V(t_1 + \frac{2L}{C})$: t_1 から応力が杭全長

を往復してきて杭頭に生じた速さ
 L : 杭先端からピックアップ取付け位置までの距離
 C : 応力波の伝播速度 (17)式である。

これらの記号は図-32を参照するとわかりやすい。

次に地盤の静的抵抗力 R_s を求めるために次のような取扱をしている。

地盤の動的抵抗力 R は、静的抵抗力 R_s と動的ダンピング抵抗力 D の二つの成分からなると考えて、(21)式で示した。

$$R = R_s + D \quad \dots \dots \dots (21)$$

動的ダンピング抵抗力 D は、一般に速さに比例するので、杭先端の速さ V_{top} を用いて(22)式で示した。

$$D = jV_{top} = j_c \frac{EA}{c} V_{top} \quad \dots \dots \dots (22)$$

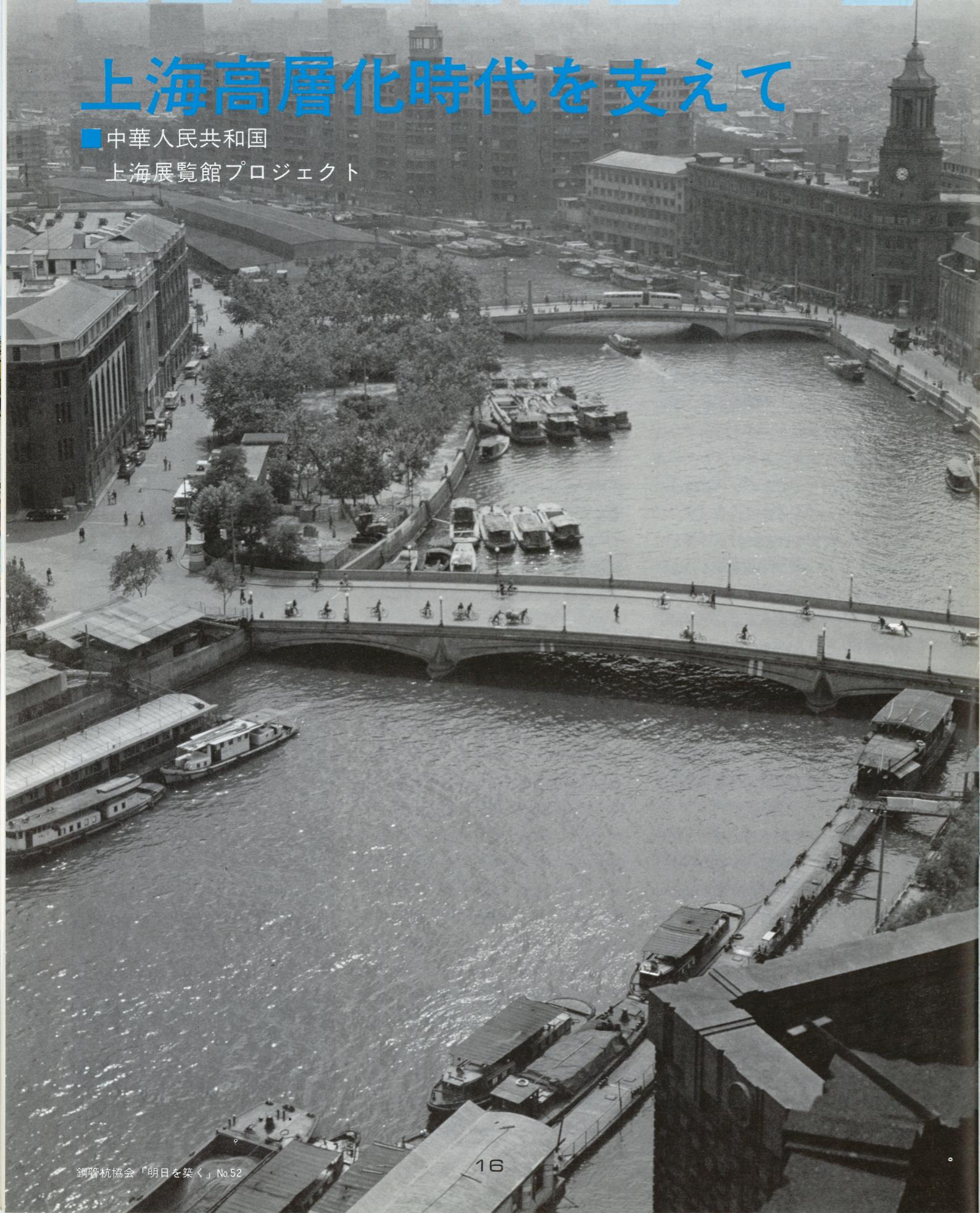
ここに、
 j : 地盤の種類によって異なるダンピング定数
 j_c : 地盤の種類によって異なる無次元ダンピング定数

E , A , c : 杭のヤング率、断面積、応力波の伝播速度
である。

(22)式における杭先端の速さ V_{top} は、杭先端と地盤が互いに接しており、その部分の変位速度が等しく、かつ、この接触部で力がつりあっているという仮定から、杭頭の速さ V_{top} と動的先端

上海高層化時代を支えて

■中華人民共和国
上海展覧館プロジェクト



中国の経済開放政策にともなって、各都市はいま活気にあふれている。なかでも上海は、空前ともいえる建築ラッシュである。“海を渡る钢管杭”第3回は、高層建築化が進む現地から、特に「上海展覧館プロジェクト」を取り上げた。プロジェクト推進に携わるのは、鹿島建設株式会社。同社・国際事業本部での取材をもとに、レポートをお届けしよう。

中国経済を担う街——上海

中国最大の河、揚子江。一名を長江ともいうこの河は、チベット高原北東部にその源を発している。そこから、四川、雲南の各省を経て、再び四川、そして湖北、湖南、江西、安徽、江蘇を流れ、黃海と東シナ海の間にたどりつく。その間約6,000kmにも及ぶ長旅である。この揚子江が、東シナ海へたどりつく直前に、デルタ地帯がある。それが上海市だ。

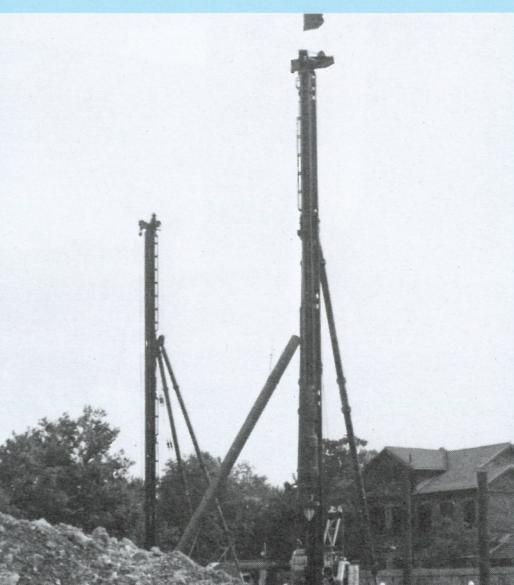
面積約6,000km²、12区10県から成り、人口約1,200万人。郊外はほとんどが農村で、いわゆるコスモポリス・シャンハイのイメージで語られる市街地は、ほんの160km²程度だという。解放後すでに40年近い現在、上海は北京、天津とともに、中央直轄地のひと



中国共産党により解放されるまで、半植民地状態が続く。この歴史的背景のもとに、上海独特の街のイメージが形成されてきたのだろう。

歴史の名残りがいたるところに

上海に進出してきた各国。それは、アメリカ、イギリス、フランス、そして日本である。その歴史の痕跡は、街のいたるところに残っている。例えば、イギリス租界時代の1934年に建てられ、ブロードウェイ・マンションと呼ばれた、現・上海大厦。このホテルは、第

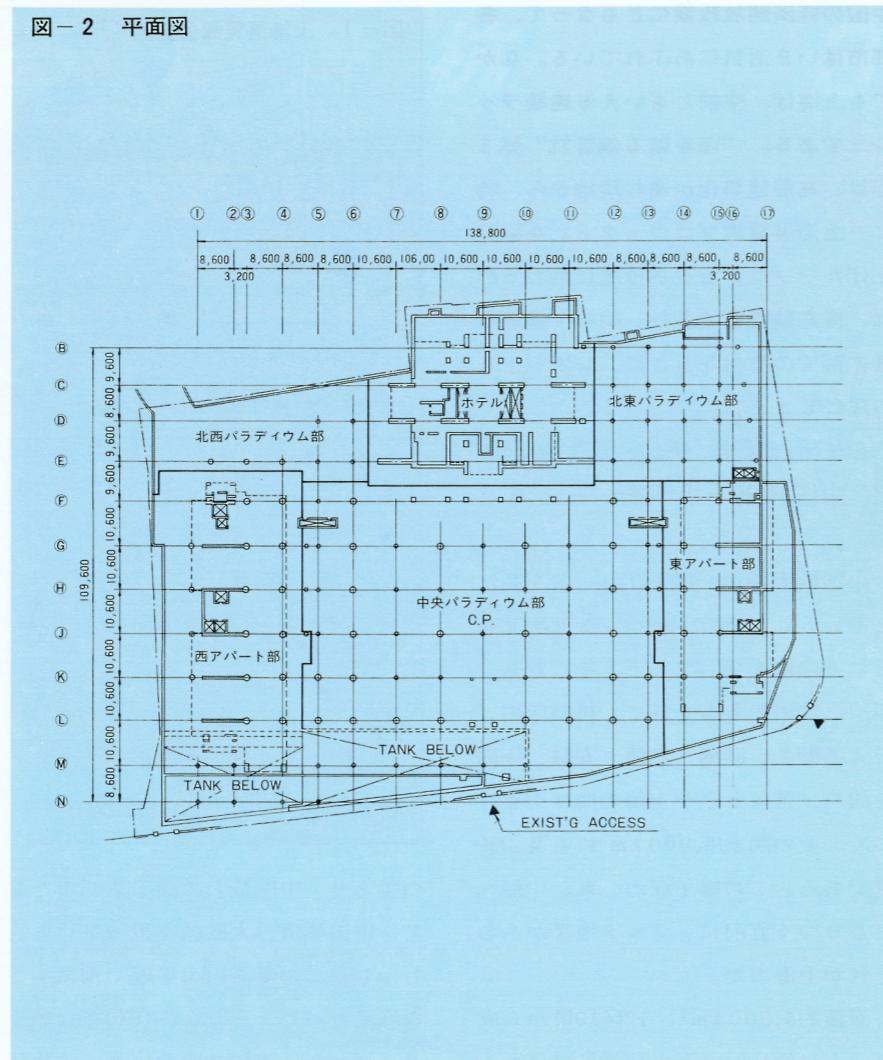


二次大戦中、日本の不動産会社が買収し、日本人によって経営された時期もある。キャセイ・ホテル（現・和平飯店）とともに、毎晩ジャズバンドの演奏が行われ、活況を呈していたといわれる。しかし、当時それらはすべて外国人専用であったという。上海大厦のそばを流れる蘇州河をまたぐガーデン・ブリッジは、中国語で「外白渡橋」という。外国人（外）は、只（白）で渡れる橋だったのだ。このように、外国人が遺した歴史の名残りを、中国人はそのままいまも残している。これは、いかにも中国という国の、そして上海の街の人々のおおらかな性格を表わしているのではないだろうか。

人口密度は東京の3倍以上

上海の朝と夕方、通りを埋める自転車の波。自転車は、通勤の足としてなくてはならないものようだ。ちなみに、自転車一台は上海の労働者の月給1ヵ月分に相当するほどの高級品なのである。この自転車の波を上回るのが、人の波。なにせ市街地の人口密度は、東京の3倍以上といわれ、国内外の買物客や見学者などで、曜日を問わず人出が多い。なかでも、特に人が集まるのが、上海の銀座通りといわれる南京

図-2 平面図



路である。黄浦江から静安公園まで、東西約5キロのこの通りは、ほぼ真ん中で西藏中路と交差し、東が南京東路、西が南京西路と呼ばれる。そして、南京西路のより内陸部に近いところに、

上海工業展覧館が建っている。このロシア風建築物は、1955年の完成当時、中国とソ連の友好関係があったことから、中国ソ連友好ホールといわれ、また革命の記念として建てられたもので



もある。そびえたつ尖塔は、高さが地上約160m。先端の赤い星は3.5mもの大きさである。約1万m²の館内には、各種工業製品など約5000点以上の展示品がある。工芸品の販売コーナーも設けられ、国内外の見学者でにぎわう観光名所として知られる。この上海工業展覧館を「南館」とし、新たに「北館」を建設しようというのが、今回の「上海展覧館プロジェクト」なのである。

経済開放政策から生まれたプロジェクト

この北館は、700室の高級ホテル、482のアパートユニット、5万m²の貸事務所スペース、さらに劇場、デパートなどを備え、中心には大展覧会場を持つ複合ビル。建築面積は17,000m²、延床面積は18万m²。最高部のホテル棟は48階建て、164.8mの軒高で、完成すれば上海でも有数の高層ビルになる。

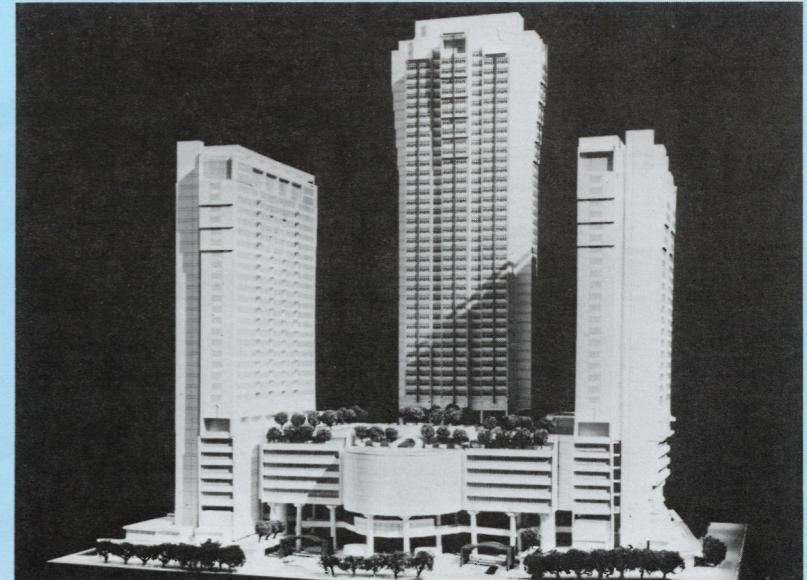
同プロジェクトは、中国の経済開放政策から生まれた。そのため、アパートも長期滞在の外国人を対象としているということである。劇場以外にもプールなどのレクリエーション施設まで備えているのは、ひとつの建物の中で商談に赴いた諸外国客が、すべて用を足してもらえるようにという考え方からなのである。

図-3 土壤試験ボーリング記録

事 項	深度 (m)	海拔 賦入 (m) 300mm当たりの打込み数										
		2.9	0	5	10	20	30	40	50	60	80	100
灰褐色粘土質 軟弱黃褐色シルト質粘土	1.7	●										
極軟弱暗灰色シルト層粘土 および粘土質シルト(第3層)	2.6		●									
シルト層をともなう極軟弱 暗灰色シルト質粘土(第4層)	6.2											
シルトと細砂層をともなう 暗灰色シルト質粘土(第5層)	16.5											
堅い暗緑灰色シルト質粘土 (第6層)	29.3											
中密度黄褐色シルト質細砂 (第7層)	32.7											
高密度ないし極高密度黄褐色 シルト質細砂(8A層)	39.0											
" " " 暗灰色 "	44.5											
シルトおよび細砂層 (3mm以下が代表的)をともなう 堅い暗灰色シルト質粘土 (第9層)	47.5											
シルト質粘土およびシルト質細砂 細かい砂利まじりの暗灰色 シルト質細砂および中細砂 (第10層)	68.0											
ボーリング終了	69.5											
	75.5											



上海工業展覧館



上海展覧館完成予想模型

工事は1986年3月に始められ、日本では考えられないほど短期間で完成することを目標に現在進められている最中である。杭打設工事は、86年7月から12月にかけて行われた。鋼管杭は、経済性、施工性、工期の総合的判断の結果使用が決定されたが、上海より北に位置する宝山製鉄所での鋼管杭打設の実績と信頼性も大いに役立ったようである。

上海一帯は、長江下流のデルタ地帯で、世界でも有数の軟弱地盤といわれる。東京湾岸の埋立地と非常によく似ており、支持層は実に-38mまであらわれないほどだ。工事に先立ち行われた載荷試験 ($\phi 500 \times 9\text{ t} \times \ell 45\text{ m}$ 4本を使用) で分析どおりの結果が得られ作業は特に問題もなく終了した。

同プロジェクトでは

$\phi 500 \times 9\text{ t}$ 、3本継 2,636セット
総計約10,000トンが使用された。

一衣帶水の意味

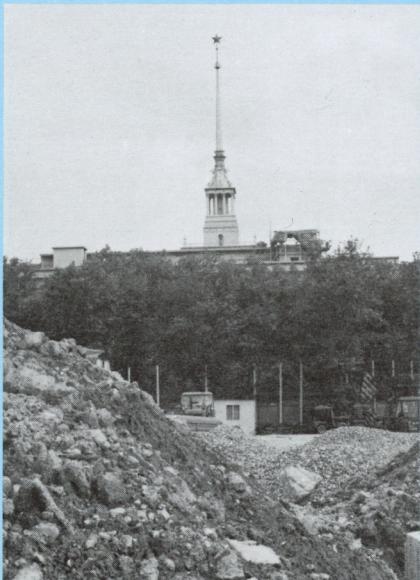
上海の観光名所のひとつ、日本人観光客が必ずといっていいほど訪れる虹口公園。別名魯迅記念公園の入り口付近に、大きな看板がある。そこには「一衣帶水」と大書されている。中国日本間に横たわる海を、一枚の布に見た



て、ほんの近くにお互いがいるのだから仲良くしましょうという、友好を意味する言葉らしい。確かに、成田空港からおよそ3時間、鹿島建設が携わる海外工事のなかでも、上海は最短距離にある。それだけに現地駐在員をはじめ上海で工事を行う他の日本の建設会社の人々は、中国に対する理解をより深めるべく努力している。

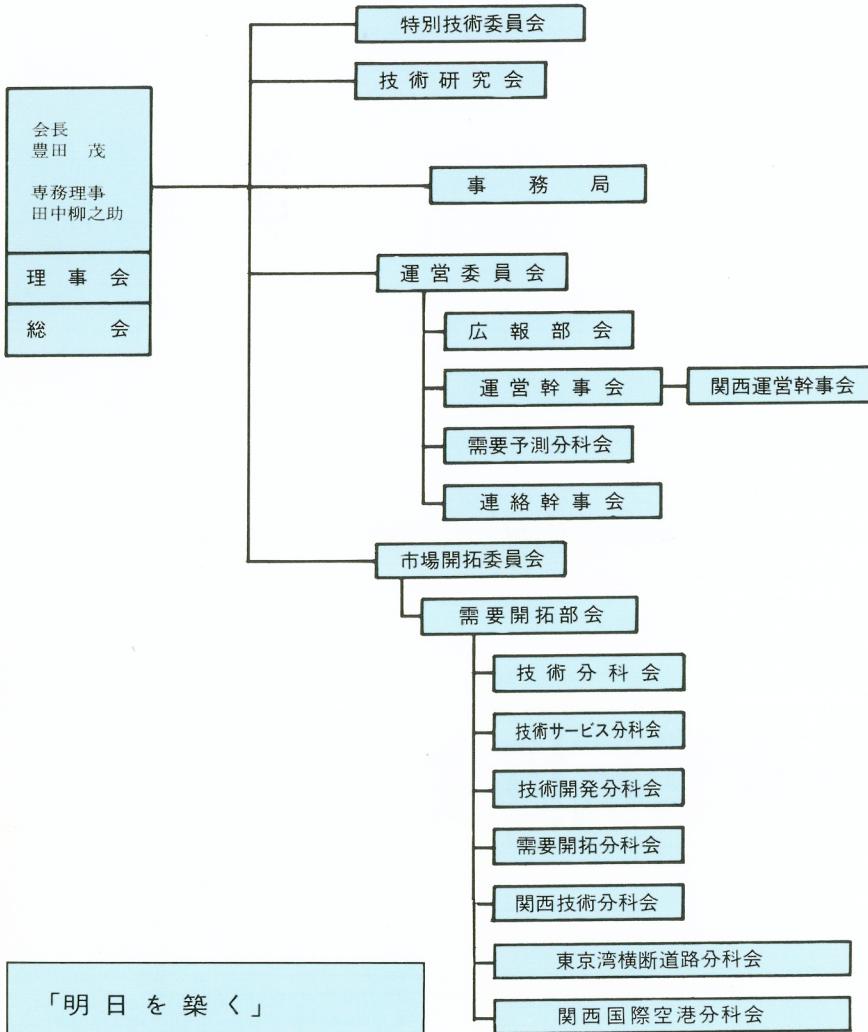
中国はご承知のように共産圏である。当然、あらゆる決定権は政府にある。政府つまり役所である。その役所相手の交渉は、組織がやたらと複雑で、相当の苦労を要するのである。そして、さらに苦労を大きくしているのが、彼我的時間的感覚のずれ。例えば日本人の

感覚で「急ぐ」つもりで、2時間、あるいは2日と考える。それを単に「急ぐ」とだけ伝えるのは、日本人の性急な気質が犯す間違いである。中国側の「急ぐ」とは、それよりもさらに長い時間を要するのであり、そして中国にとっては、それが当たり前のことなのだ。現地駐在員の方々は、中国を、さまざまな苦労をひとつひとつ片づけながら、理解し、スムーズにビジネスを進めようとしておられるようだ。それが、「一衣帶水」を、いずれ本物にしていくのかもしれない。そして、さらに大きなプロジェクトへつながるにちがいない。



钢管杭協会組織図

(昭和62年3月31日現在)



「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 竹下賢明(久保田鉄工)
 委員 小泉 煉(日本鋼管)
 " 大東和美(住友金属工業)
 " 伴 哲男(川崎製鐵)
 " 横山元信(新日本製鐵)
 " 白庭瑞夫(久保田鉄工)

編集委員会

委員長 白庭瑞夫(久保田鉄工)
 委員 小川誠二(久保田鉄工)
 " 大谷吉夫(新日本製鐵)
 " 永瀬久夫(川崎製鐵)
 " 笹野龍夫(住友金属工業)
 " 片山 猛(新日本製鐵)
 " 藤 丈詩(日本鋼管)
 " 原田隆正(日本鋼管)

会員会社钢管杭製造工場所在地 および設備

[] 内は設備

株式会社吾 製鋼所
 千葉製造所：千葉県市原市姉ヶ崎海岸 7-1
 [スパイラル]

川崎製鐵株式会社
 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.]

川鉄钢管株式会社
 千葉市新浜町 1 番地
 [スパイラル, 板巻]

久保田鉄工株式会社
 市川工場：千葉県市川市高谷新町 4
 [スパイラル]

新日本製鐵株式会社
 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]

住友金属工業株式会社
 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.]

住金大径钢管株式会社
 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]

東亜外業株式会社
 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]

西村工機株式会社
 兵庫県尼崎市西長州東通 1-9
 [板巻]

日本钢管株式会社
 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：広島県福山市钢管町 1
 [U.O.E. スパイラル]

钢管杭協会会員一覧 (50音順)

株式会社吾彌製鋼所	住金大径钢管株式会社
川崎製鐵株式会社	住友金属工業株式会社
川鉄钢管株式会社	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	日本钢管株式会社

明日を築く No.52

発行日 昭和62年4月1日発行

発行所 钢管杭協会

東京都中央区日本橋茅場町
 3-2-10(鉄鋼会館) 〒103

TEL 03 (669) 2437

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) 5888

(無断転載禁)



鋼管杭協会