【報　告】

八戸火力発電所新設工事について

矢　崎　道　美*

要　旨　東北電力ＫＫが，八戸火力発電所を新設するに際し，その地点の地質特性を考慮して，主要機器建屋基礎に大型の圧気ケーソン工法を採用した。この基礎工法は，わが国の火力発電所の基礎として最初の試みであり，これを主として，八戸火力発電所の土木工事の概要を報告する。

1. まえがき

東北地区は，従来水力資源の豊富を誇つてきたが，最近の需要急増により，東北地区のうち特に北部地区にいちじるしい供給不足が予見されるに至り，北部需要の中心たる八戸市の近傍に火力発電所を新設することになつた。将来 30 万 kW 程度の規模の火力発電所の立地条件として，

a）50 000～100 000 坪程度の敷地

b）15 m^3/sec 程度の冷却用水の取水放流

c）年間約 80 万 t 程度の燃料炭入手およびその捨灰の処理

d）1 日あたり 2 000 t 程度ボイラー用水および所内用水の確保

e）基礎地盤の良否

f）需要地の近傍

以上を考慮して，八戸市近郊の馬淵川河口の三角洲に敷地を選定した（図—1）。

この敷地は，馬淵川改修工事の河口付替えによつてできた旧河道沿いの三角州にあつて，付近一帯を八戸工業都市とする構想の一環として，旧馬淵川河道を将来 3 000 t 級の工業港とする工事が青森県の手で進められているので，立地上すぐれた地点である。計画航路のしゆんせつ土砂を利用する埋立てにより，約 88 000 坪を確保したが，**写真—1** に見られるとおり，付近一帯は元来デルタ地帯であつて，シルトと砂の互層が地下深くまで連続し，基礎地質としては軟弱の部に属する。

写真—1　八戸火力発電所地点航空写真

燃料炭は，北海道炭を海上輸送し，当時国産最高級の 75 000 kW の火力設備 2 基を運転するものである。

2. 設備概要

a）工事内容：75 000 kW　2 基新設

b）工　　程：着　　工　31 年 9 月（土木工事）
　　32 年 3 月（建屋工事）
　　32 年 8 月（機械組立）
　　運転開始　33 年 7 月（1 号機）
　　33 年 10 月（2 号機）

c）発電所出力および石炭消費量：
　　第 1 期工事出力　150 000 kW
　　年間発生電力量　790 000 MWh
　　年間石炭消費量　420 000 t

d）用地面積：88 000 坪

e）機器：ボイラー　単胴輻射再熱式　容量 260 t/h　2 缶
　　汽圧 106 kg/cm^2　汽温 541°C 再熱式
　　汽機　再熱式復水型　容量 75 000 kW　2 台
　　発電機　水素冷却式　容量 92 000 kVA 2 台
　　製造者　1 号機　日立
　　2 号機　三菱

f）ボイラー用水　八戸市水道より給水
　　給水量　1 500 t/day

3. 土木工事の概要

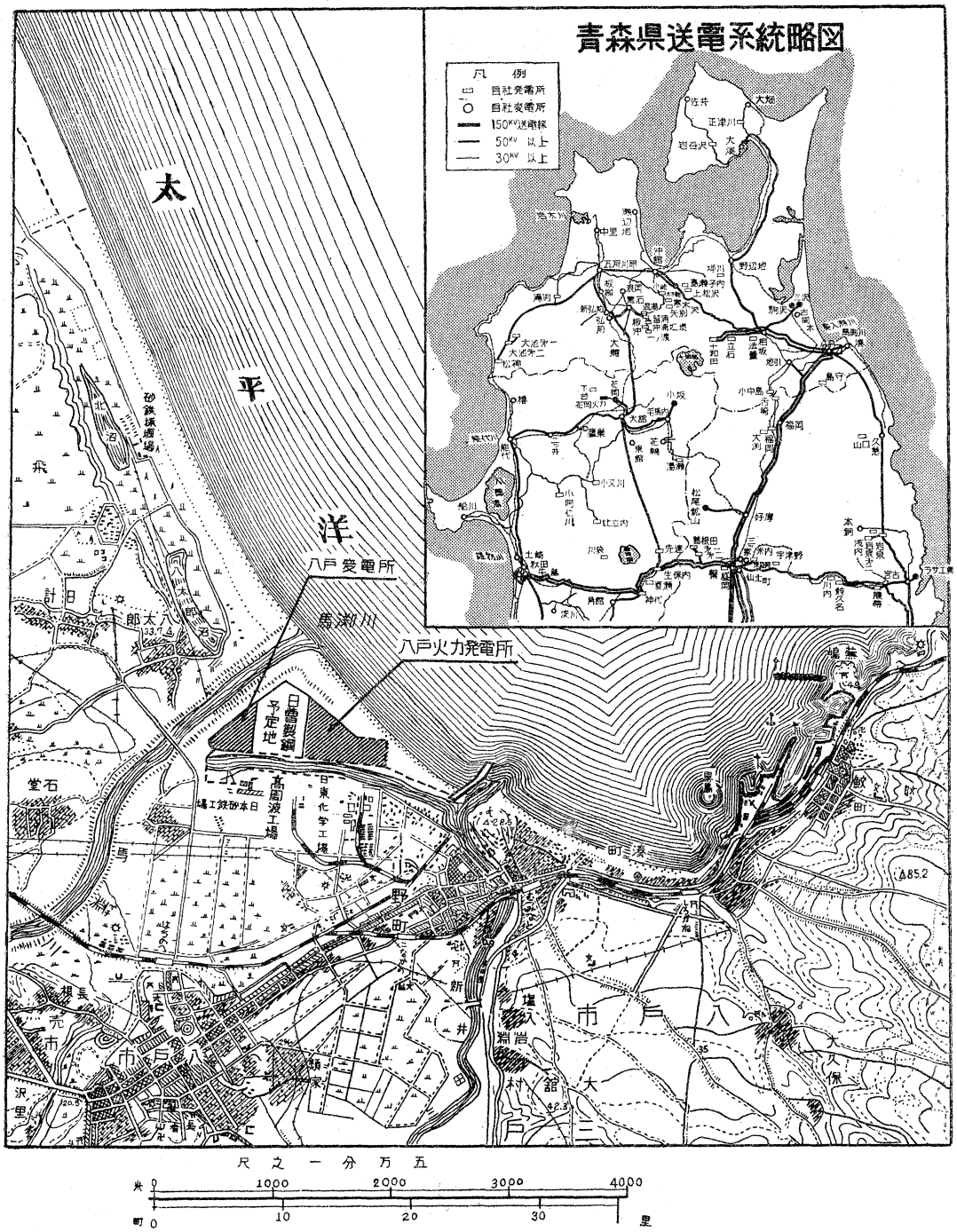
（1）地形および地質

敷地一帯は **写真—1** に見られるように馬淵川デルタ地帯の一部であつて，八戸港基準水面（最干潮面）標高 +3 m 前後の平坦地である。旧河道移動のあとの低地は，しゆんせつ土砂をもつて埋立て，+3.0 m の平坦な敷地を造成した。なおこの付近の既往最高潮位は，三陸津浪のさい +3.0 m を記録している。

敷地内の設備は **図—2** のごとき配置であるが，これら構造物の基礎となる地盤は沖積地盤であつて，代表的な地層断面図として **図—3** に見られるような，砂とシルトのほぼ水平な互層である。すなわち，地表から 5～7 m の間は沖積後あまり年代を経ていない地表軟弱層に相当す

*　正員　東北電力株式会社建設局水力建設部長

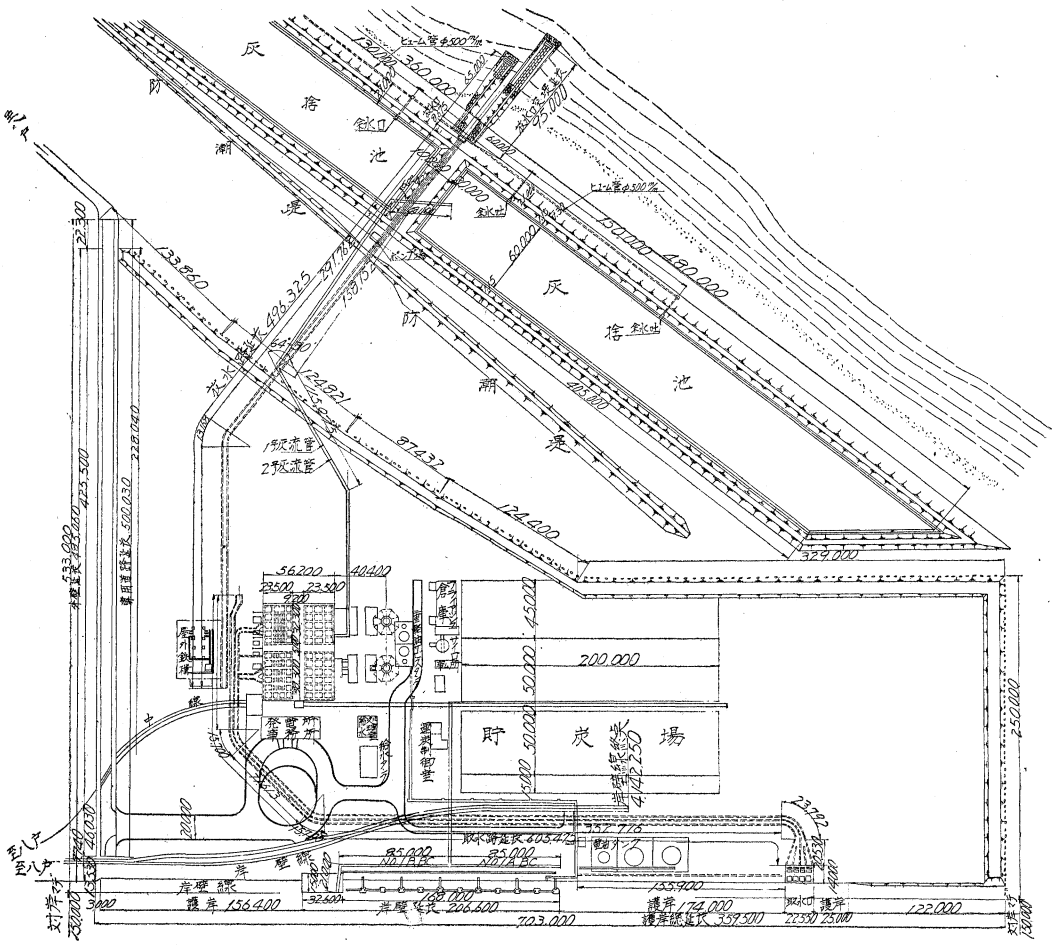
図—1



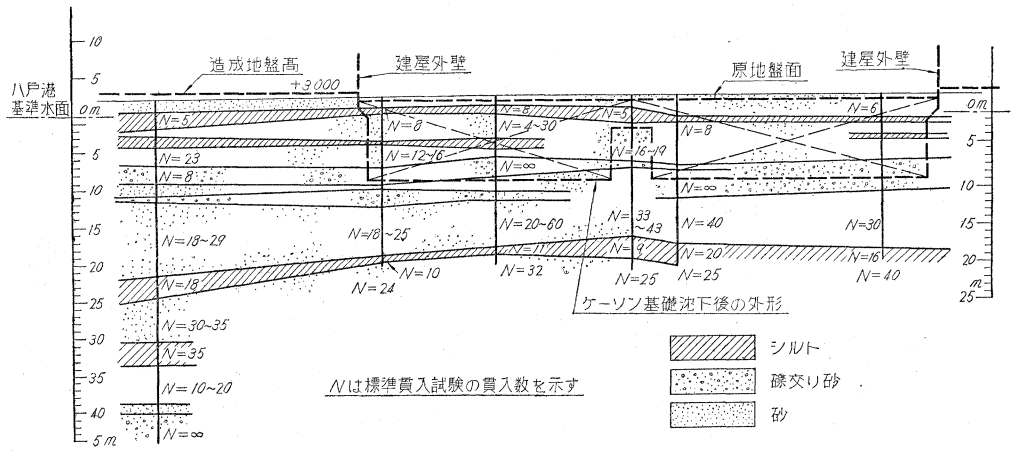
るもので，地表から 10 m 内外の深度に厚さ 2～4 m の礫交り砂層があり，これ以下の部分はおおむね粗砂であるが，地表から約 20 m の深度に厚さ 3 m 内外，また約 33 m の深度に厚さ約 5 m のシルト層が介在している。これらの基礎地盤としての評価は，標準貫入試験によつて推定した結果を **図—3** に N 値として記入したとおりで，地表軟弱層およびシルトの層を直接基盤とすることはさける必要がある。シルトは，含水比 50～60%，間げき比 1.2～1.5 程度のもので，発電所基礎以外の小範囲の荷重には大きな沈下を生じないものである。

従つて，構造物は地質に懸念なく地形に適合せしめて **図—2** のごとくに配置し，基礎工は地表軟弱層に杭打ち

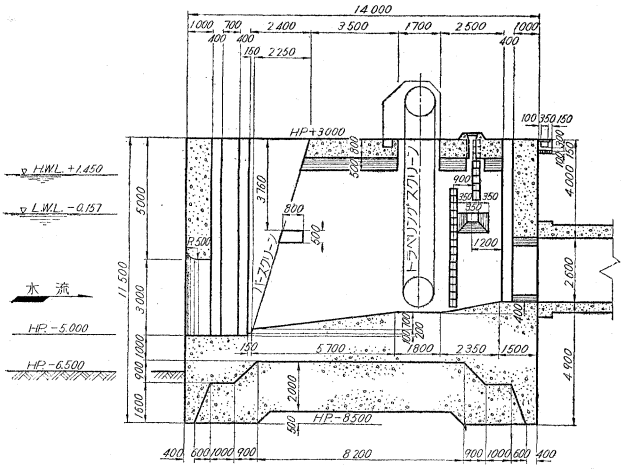
図—2 八戸火力発電所一般図



図—3



図—4　取水口縦断面図



を主とし，発電所基礎のみは別途に処置することとした。

以下に主要な土木工事について記述する。

（2）　冷却水路工事

冷却水路は将来 30 万 kW の設備に対し 15 m³/sec の海水を内港から取水して外海へ放流するものである。

取水口は，幅 22.0 m，奥行 14.0 m の鉄筋コンクリート造りとし，標準断面は図—4 のごとく，築島上からしゆんせつ海底面下 2 m の深度まで圧気ケーソン工法により沈設した（**写真—2**）。

取水路は延長 605 m，内径 2.6×2.6 m および 2.6×2.8 m の 2 スパン箱型ラーメン構造鉄筋コンクリート造りで，**写真—3** に見られるごとくウェル ポイント工により掘削施工した。海面から至近距離の砂質地盤であつたので，鋼矢板護岸完成後に施工した。

放水路は 1 期工事分のみ施工し，延長 496 m，内径 1.7×2.0 m 鉄筋コンクリート造り箱型ラーメン構造である。外海へ直接放流する必要上，海上に 100 m の捨石並びにコンクリート ブロックづみ突堤を 2 本延長して，漂砂堆積に備えた。

（3）　発電所基礎

発電所は 1 期工事として 1，2 号機の幅 75.8 m，奥行 56.2 m の範囲に機器約 8 300 t，，建屋約 20 700 t の載荷がある。ボイラーと汽機に各 1 基，合計 4 基の大型ケーソンを沈設し，上部を厚さ 4.3 m の鉄筋コンクリートで剛結した。このマンモス ケーソンは，高さ 10.35 m，幅 31.8～36.4 m，奥行 22.2～22.8 m の規模のもので，圧気ケーソン工法を用いた。

（4）　岸壁護岸

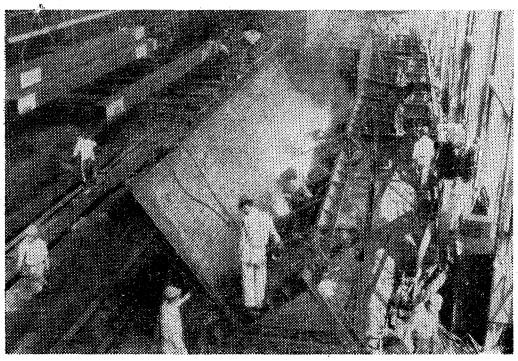
将来 8 000 万 t の年間取扱炭量を処理するために，3 000 トン級D型船を対象とする，水深 6.5 m，延長 200 m の岸壁を設けた。

シルト質砂地盤に対して，ドルフィン式繋船岸壁を設計し，しゆんせつ前の陸地に刃口をすえて，外径 5.5 m 上部の径 4.0 m の井筒を，中心間隔 15 m に沈設し，上部に揚炭機基礎として鉄筋コンクリート桁を架設し，**図—5** のごとき構造とした。

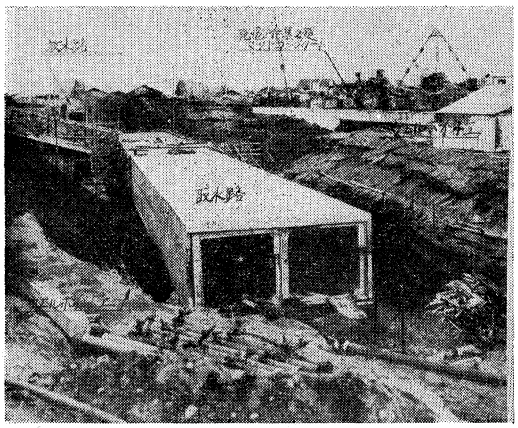
揚炭機は，水平引込式 200 t/h，自重 260 t のもの 2 基で，前輪はドルフィン上の桁の上を，また後輪は護岸背後の杭打基礎上を横行する。

なお最大 200 t の機器揚陸用として，岸壁の一端に井

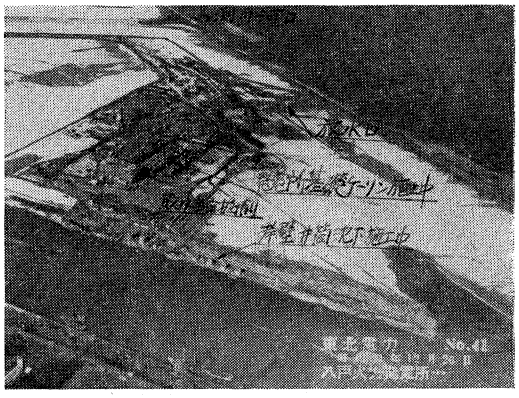
写真—2　取水口ケーソン施工状況



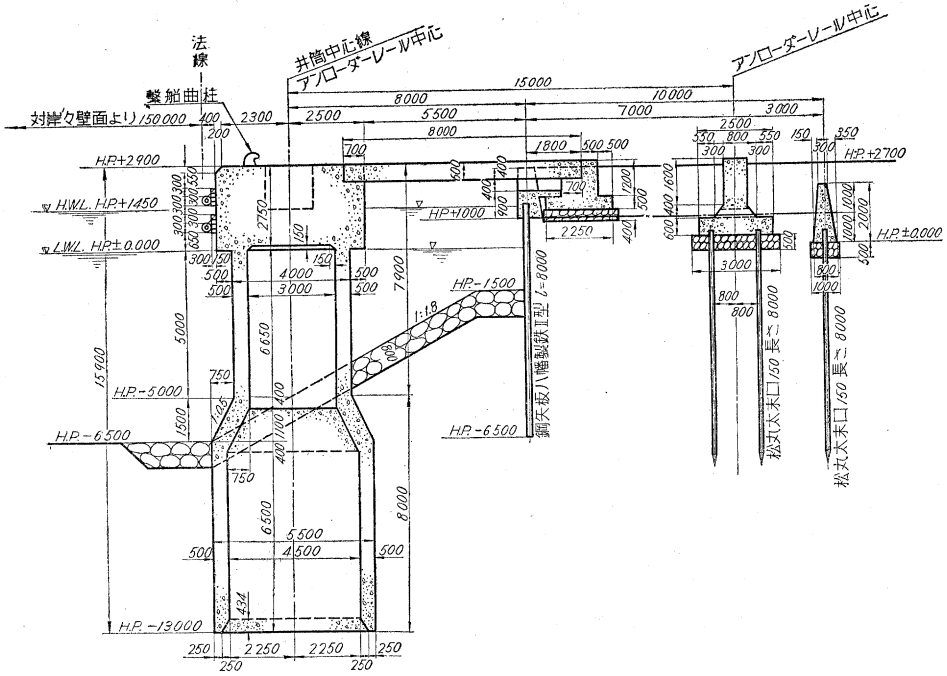
写真—3　取水路施工状況



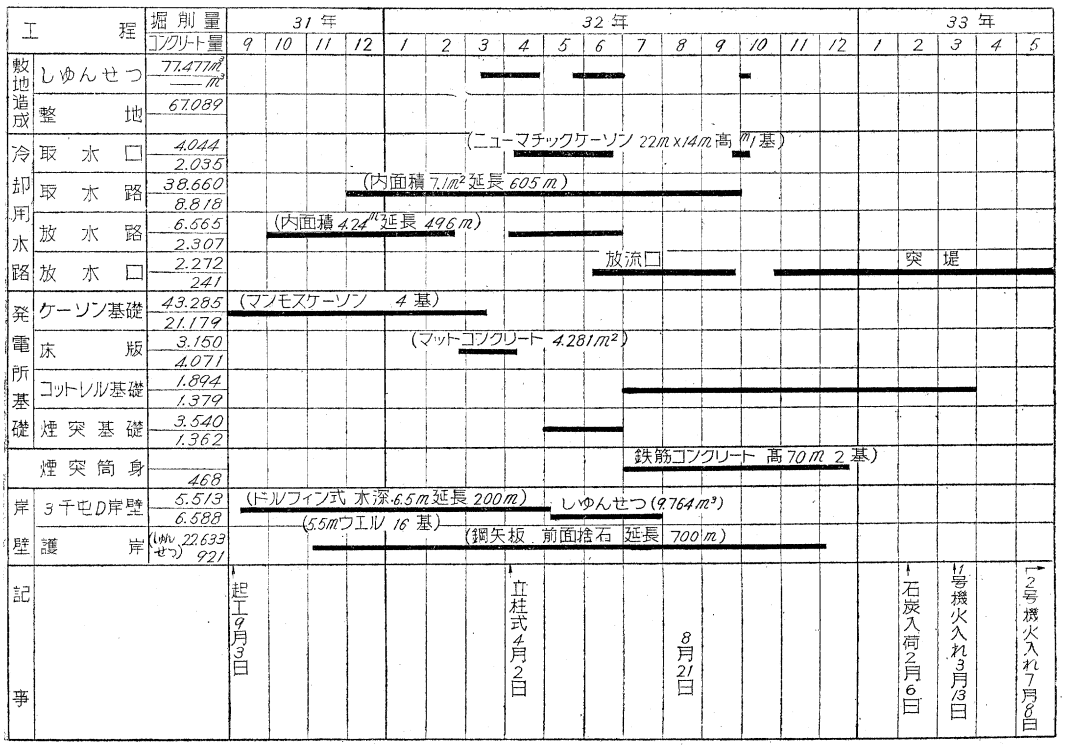
写真—4　施工状況全景



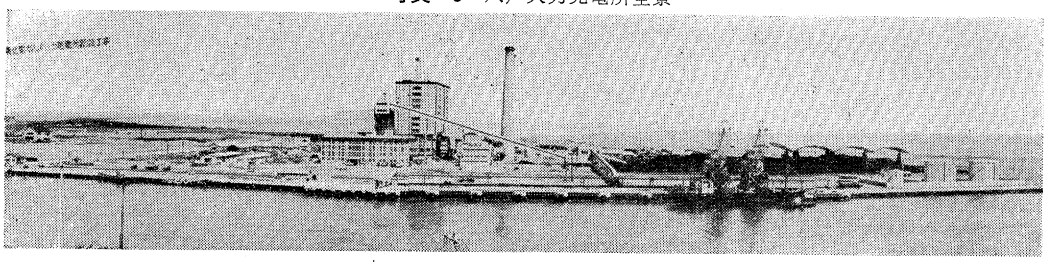
図—5　3 000 ℉D 岸壁標準断面



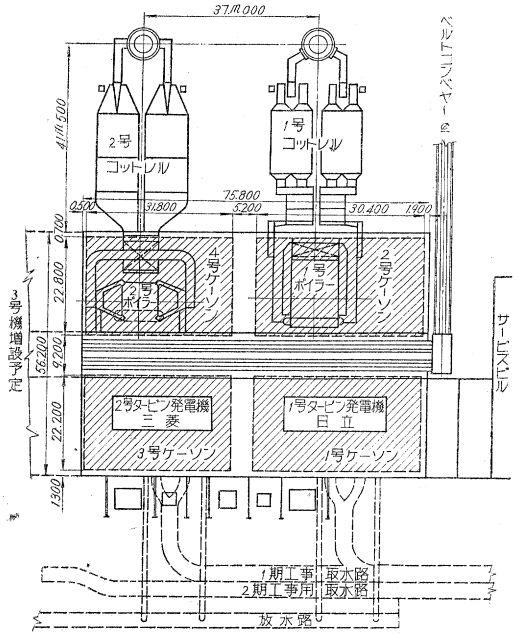
図—6　八戸火力発電所土木工事工程実績表



写真—5　八戸火力発電所全景



図—7　八戸火力発電所発電所基礎ケーソン配置図



筒を増設して荷揚場とした。これらの井筒は，中心間隔 7.5 m となり，沈下に相当困難であつた。

護岸は，水深 −1.5 m までを石張り斜面とし，その背後に鋼矢板を用いて水際護岸を行つた。

上記の各工事は，しゆんせつ前に陸上で場所打ちコンクリートにより施工し，完成後しゆんせつ並びに張石を行つた。

（5）　土木工事総括

土木工事の実績は，**図—6** に概略を示したとおりである。また施工中の光景を **写真—4** に示し，完成後の状況を **写真—5** に掲げた。

土木建築工事施工は，大林組の請負である。

4.　発電所基礎ケーソン工事

（1）　基礎の設計について

発電所の平均載荷重は

$$29\,000\ \mathrm{t}/4\,280\ \mathrm{m}^2 \fallingdotseq 6.8\ \mathrm{t/m}^2$$

であり，本地点の地質にかんがみ，−10 m の深度にある礫交り砂層，あるいは −40 m の深度にある砂層に発電所の基盤をおくことができるが，いずれも載荷重に対して不等沈下を起さぬためには，直接マット基礎を施工するか，あるいは圧気ケーソン工法により確実にコンクリートを基盤に打ちつける必要があつた。

従つて

a）　基盤 −10 m まで明り掘削の後フーチングあるいはマット コンクリート基礎とする。

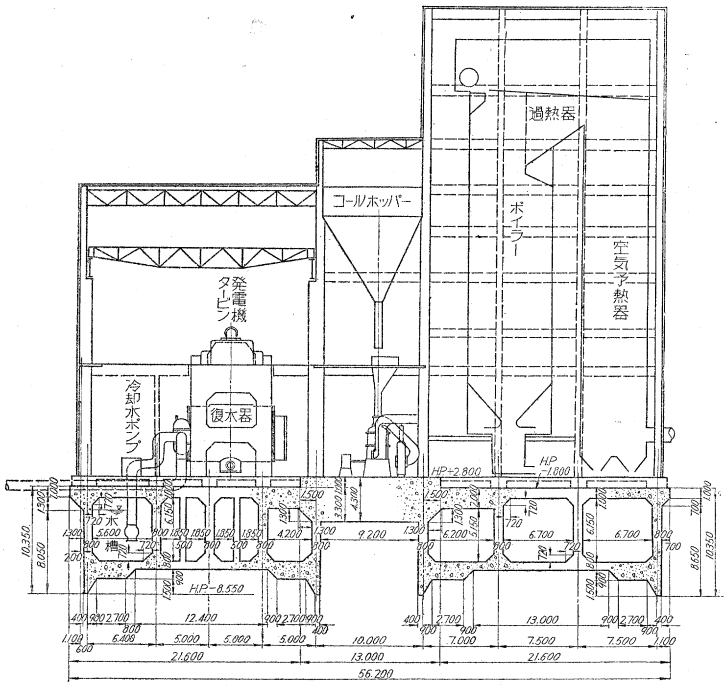
b）　基盤 −10 m まで圧気ケーソン基礎とする。

c）　基盤 −40 m まで圧気ケーソン基礎とする。

の三工法について比較した結果，**a）** は排水施工の絶対確実を期しがたく，さらにまた **c）** は **b）** にくらべて経済性におとるところから，**b）** の工法を採用した。

基礎地盤の地質，土性は局部的に不均等を予想され，

図—8　八戸火力発電所 2 号機側面図



不等沈下を避ける方法として，発電所全体を一体の基礎とすることが理想的である。76×56×高 10 m を 1 基のケーソンをもつて施工するには，箱体の高さ 10 m の桁高では安全な強度を得られないので，これを 4 分割して主要機器たる汽機とボイラーを各 1 基のケーソン基礎上にすえて沈下の実害を避けることとし，図—7 の配置を行い，また 図—8 に示したごとく各ケーソン上部を鉄筋コンクリートで剛結して一体性を保つ設計とした。

この結果，ケーソン基礎の荷重は

機器重量	8 300 t
建屋重量	20 700 t
基礎自重	49 500 t
計	78 500 t （刃口面積当り 25.6 t/m²）

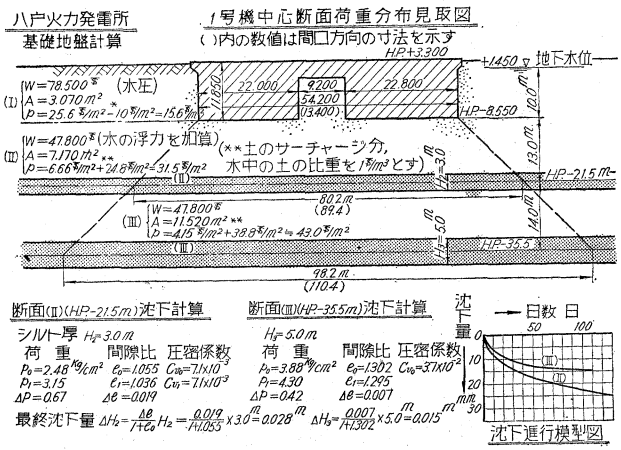
となつたが，掘削排土の重量（水中重量）約 35 000 t をさし引いて，ケーソン刃口面から基盤に伝えられる載荷重は，天然の載荷重よりも約 43 500 t (14.2 t/m²) 増加するものと計算され，この地点の地質に対し十分安全な値である。またこの載荷による地盤の圧密沈下量は 図—9 のごとき計算により約 50 mm 内外と予想され，大きな不等沈下を生ずる心配はない。

この設計により，1 基のケーソンは刃口面積が 800 m² におよぶ超大型のケーソンとなり，マンモス ケーソンと略称しても過言でない。各ケーソンの内部には縦横に隔壁を設け，基礎構造物としての剛性を増加して基礎地盤の局部的不同に備えるとともに，沈下施工中に必要な強度をも与えるため 図—10 のごとき構造となつた。この断面は，砂質地盤を考慮して刃口全長の 1/3 を下ざらいする場合の強度も検算してある。

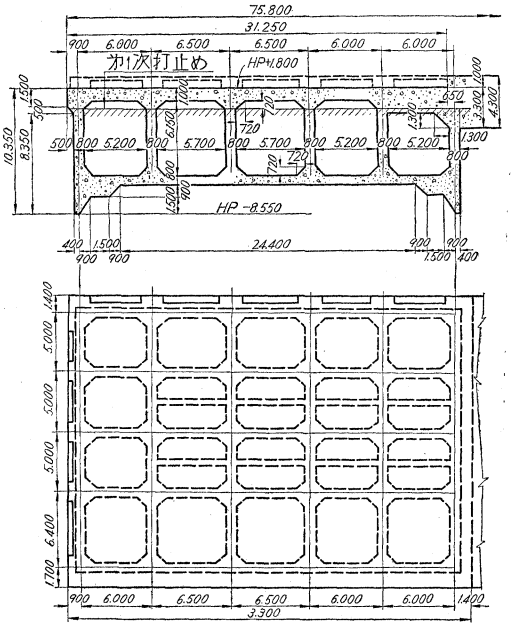
沈下力図は 図—11 のごとく想定し，地表シルト層を沈下する際の支持力の不足が予想されたので，刃口にはステップをつけた 2 段式を用いた。このステップは，不測の沈下に対する安全装置ともなり，沈下作業に多人数を入箱せしめてなんら不安がない。

（2） 箱体製作について

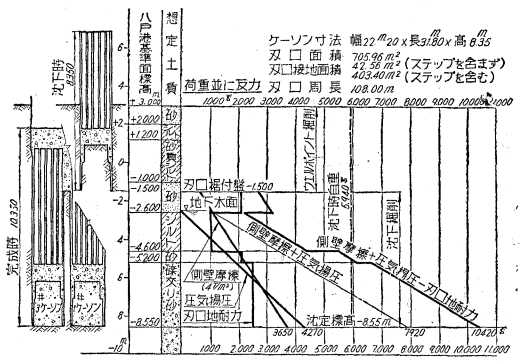
図—9



図—10 発電所基礎ケーソン設計図（3 号ケーソン）



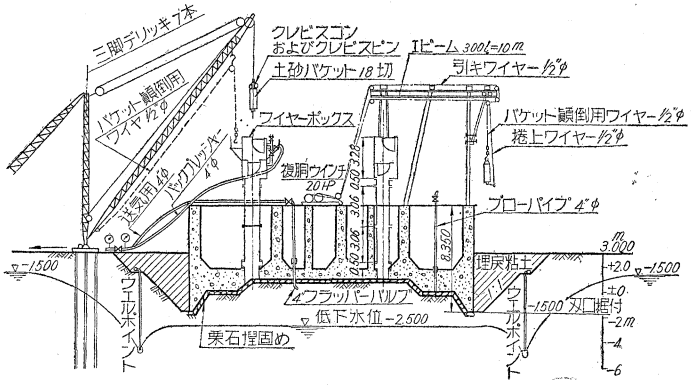
図—11 八戸火力発電所発電所基礎第 3 号ケーソン沈下力図



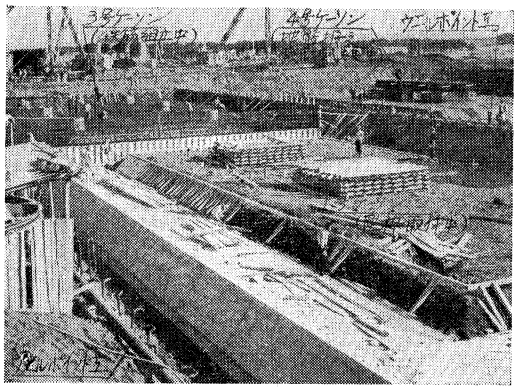
マンモス ケーソンの箱体は，1 基重量約 6 000 t（刃口面積につき 8.5 t/m²）の重量品であつて，軟弱地盤上に安全に築造することが第一の問題であつた。そのため，箱体上部スラブをはぶき，強度の許すかぎり軽量とし，地表の軟弱地盤をウェル ポイント排水工を併用して締固めおよび掘削ののち，作業室並びに刃口の形に地盤を掘下げ，地盤ごしらえの上，型ワクあるいは捨コンクリートののち，箱体コンクリートを打設した。図—12 並びに 写真—6 に見られるごとく，この工法によりステージングが不要となり，工費並びに工程上有利であつたと考えている。

この箱体製作中に，箱体自重により約 3 cm の地盤沈下を見たが，箱体に影響をおよぼすような不等沈下は見られず，これはウェル ポイント排水工により地盤の均一性を改善した効果があつかつ

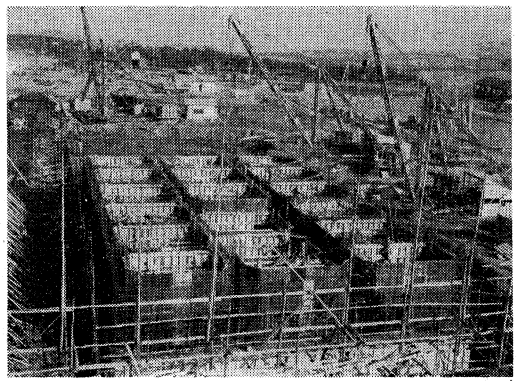
図—12 八戸火力発電所3号ケーソン据付け並びに掘削仮設備断面図



写真—6 ケーソン本体製作状況 (1)



写真—7 同　上 (2)



て力あつたものと考えている。

明り掘削量 (6 800 m³ に使用した設備は次のとおりである)。

ブルドーザー	(D-8)	1台
同上	(小松D-80)	2 〃
同上	(小松D-120)	1 〃
スクレーパー	(ターナー 8 cy)	4 〃
ダンプカー	(7 t)	10 〃
ウェル ポイント		
(10 HP バキューム ポンプ4台)		延長 550 m

(3) 沈下施工について

箱体製作終了後，周囲を粘土で転圧埋めもどし，支持力を増加するとともに圧気のブロー止めとした。

箱体には，1基当り6個のエアー ロックを取りつけ，ロック1個当り10名，合計 60 名の作業員を常時入室して掘削沈下を行つた。

掘削沈下には，隣接ケーソンへのブローの懸念があるので1基ごとに沈下を完了せしめた。

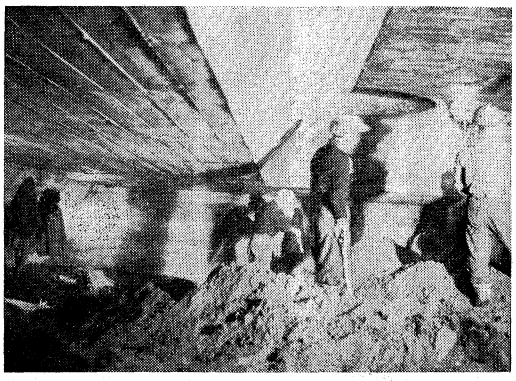
圧気掘削に使用した設備は次のとおりである。

コンプレッサー	(100 HP 電動)	10 台
同上	(150 HP ジーゼル)	2 〃
ホスピタル ロック		1 基
ロック (内径 1.8 m)		12 〃
シャフト (内径 1.2 m, 高 3.0 m)		24 本
土砂バケット (0.5 m³)		15 個
三脚デリック (7 t)		7 基
キャリヤー (2 t)		8 〃
ポータブル コンベヤ (5 m)		3 台

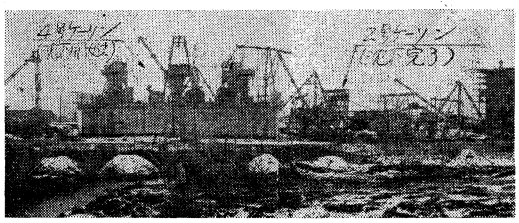
掘削は作業室の入念な切拡げから開始した。作業室切拡げに当り，ウェル ポイントの排水効果により送気を行う必要がなく，作業室をステップ内面まで切拡げてのち送気を開始した。

マンモス ケーソンの箱体に異常な応力を生ぜぬよう，ステップおよび刃口の下ざらえは短辺から開始し，ついて長辺の下ざらえを全長ほぼ均等に掘削するように施工した。沈下中の土質はおおむね砂質土で，ところどころ

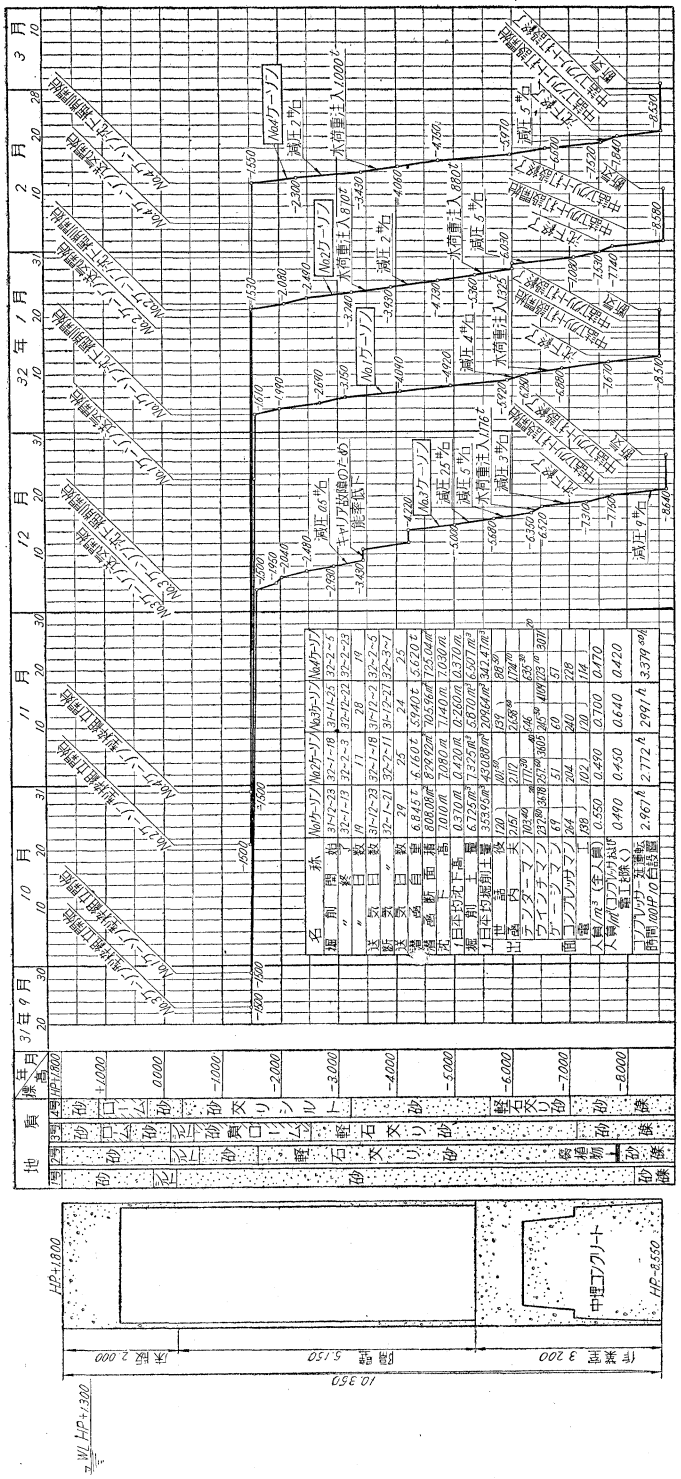
写真—8 ケーソン掘削沈下作業状況



写真—9 ケーソン施工状況



図—13 ケーソン沈下実績



にシルト層を介在していたが，ウェル ポイントおよび沈下中の圧気の浸透による排水効果によりシルトが堅硬に締固まつて掘削に好条件を得た。掘削沈下の下半は摩擦支持力が大きく，減圧による沈下を必要とした。減圧時の衝撃が箱体に悪影響をおよぼす心配から，送気停止による自然ろう気を利用する減圧方法をとつた。この方法は砂地盤には非常に効果的であつて，送気停止後，気圧が減るにともなつて水位が上昇し，刃口の接する砂が浸水するにおよんで砂の支持力が減退し，他方圧気減による揚圧の減少とあいまつて，連続的に徐々に沈下する。作業室は拡大で，沈下に際して作業員がそのつど退避する必要を感ぜず，ベルト コンベヤを持込んで能率を上げた（写真—8）。

作業目安として片番 40 cm，1 日二交替の沈下 80 cm を目標に作業を行い，図—13 の実績を得た。すなわち，標準工程として

作業室切拡げ	8 日	計 20 日
掘削沈下(7.5 m)	10 〃	
沈下後の処理	2 〃	

にて 1 基の沈下工を完了することができた。

沈定時の誤差は，最大水平偏位 82 mm，標商誤差 78 mm であつて，実際上正確に沈定したといえる。このような大型ケーソン工は，砂地盤の場合，沈下中の調節により沈定偏位をほとんど完全に修正できることを経験した。

沈定後は，作業をコンクリートで填充，グラウト注入ののち隔壁内を砂で填充し，上部スラブにより各ケーソン間を剛結して基礎工を完了した。

以上の工事は，31 年 9 月の着工以来 32 年 3 月末の基礎工完了を目標に進められたものであつて，全 4 基のケーソン工事を集計すると次のとおりである。

掘削日数	延べ	83 日
述気日数	〃	103 日
実沈下日数	〃	43 日
沈下量	〃	28.26 m

1 日平均沈下量

0.54 m/D（実沈下日数当り）

掘削土量		26 427 m³
1 日平均掘削土量		319.3 m³/D
掘削出面	世話役	延べ 449 人
	箱内夫	〃 8 646 〃

テンダー マン	延べ	2 762	人
ウインチ マン	〃	959	〃
ゲージ マン	〃	237	〃
コンプレッサー マン	〃	936	〃
電工	〃	474	〃
計	延べ	14 464	人

バケット土量/掘削量　約 1.5

コンプレッサー運転時間　延べ 12 119 時間

〃　平均運転台数 4.95 台（連続）

（4） 沈下後の状況

沈定後の圧密沈下を機械据付後から観測した結果は図—14のごとく，約 10 mm の不同を見ているが，機器への影響はなんらの心配なく，運転開始時の地盤のセット以後，目立つた沈下を見せていない。従つて発電所基礎として計画どおりの働きをしているものと考えている。

5. あとがき

火力発電所として種々の立地条件を十分に満足する地点は今後きわめて少なくなるものと予想されるが，今回八戸火力発電所に応用して成功を見たマンモス ケーソン工法によつて，地質の条件は大幅に緩和されると考える。

すなわち，火力発電所の上部載荷重は約 10 t/m² 内外にとどまると見られるが，マンモス ケーソンの根入れを地質に応じて増加すれば，掘削土砂の重量が上部載荷重に匹敵して基盤の載荷重は施工前と変化ない結果をうることができ，他面，不等沈下による障害を完全に避けることができる。この報告が今後火力発電所の地質条件を克服する一助となれば幸いである。

豆　知　識

水ガラスとセメント

水ガラスはセメントと非常に古くからのなじみであり，急結剤としてよく用いられている。ひところ防水剤として水ガラスに色をつけたものが見受けられたが，これは急結剤として水ガラスを漏水止めに使つているうちに，コンクリートが固まつてのちの水密性を改善する防水剤と混同したものである。

混和材料としてでなく，水ガラスを主材として用いるのはいわゆる薬液注入においてである。セメント注入の勢力外である微小空げきに対しては，薬液注入が威力を発揮するわけであるが，この方面で水ガラスの占める位置が，あまりに大きいため薬液注入工法を珪化法（水ガラスはアルカリ珪酸塩である）という人さえあつたくらいである。旧丹那トンネル時代に採用されていた Joosten 工法（水ガラスと塩化カルシウム），Francois 工法（水ガラスと硫酸ばん土）等のような，二薬液を瞬結させる工法から，さらに進歩して水ガラスとアルミン酸ソーダ，水ガラスと重炭酸ソーダ等のように二薬液の固結時間を延長する工法も最近では応用されるようになつている（ケミジェクト工法，ハイドロック工法。これらの基本的原理は約 20 年前に発見されている）。

ところで薬液注入というと何となく土木技術者はむずかしいもの，わからないものとする傾向があるが，これは用いる化学薬品の名前に「げんわく」されることが大きな原因ではないかと思われる。例えば，水ガラスに少量のセメントを加えると，ある時間がたつたのちに固化して，全体が止水能力のあるものになるなどという工法が現われたら，この工法は土木技術者にとつて，きわめてなじみ深いものとなるであろう。今例えばといつたが，水ガラスを少量のセメントによつて固化させる工法は事実東独で特許として存在しているのであり，水ガラスがアルカリ中でも固化することを示した点で注目に値するものである。

しかし，東独の工法は「水ガラス水溶液をセメント懸濁液で処理し，一定時間がたつて不安定化した水ガラスの上ずみ液を注入する」という面倒なものであるから，セメント粒子の沈澱をベントナイト等によつて防ぎ，一体として注入する方法，水ガラス水溶液とセメント懸濁液を注入管のなるべく先端に近い所で合流させて注入する工法，適当なミキサの設計等について，もつと研究し現場に応用しやすい形に発展させる必要は認められる。

ありふれた材料であるセメントと水ガラスだけを用いて，従来セメント注入，薬液注入と区別されていた領域をこん然一体とし止水注入の目的を達することは，遠からず可能になると思われる。水ガラスとセメントのこの新しい結びつきは土木技術者が，もつと注目してよいものではなかろうか。

［樋口・記］