
千葉製鉄所西工場の軟弱地盤におけるスラブヤード基礎の設計

A Design of Slab Yard Foundation on a Weak Ground

西山 領(Satoru Nishiyama) 城 郁夫(Ikuo Jo)

要旨：

千葉製鉄所第3連続鋳造設備が稼働して約1年半になる。そのスラブヤードについて、室内実験、現場試験、地盤改良および追跡調査の資料をもとにまとめた。連続鋳造設備の建設前に、地中のせん断応力、地盤沈下、地盤の水平移動量を予測し、スラブヤードの基礎設計を行った。建設中および稼働後の測定によると、地盤強度、地盤沈下は問題なかったが、クレーン基礎の一部が、横方向に約3 cmほど移動していた。その最大の現因は、転炉スラグの膨張と考えられる。現在ではクレーン基礎の移動はほぼとまり、安定域に入っている。

Synopsis：

No.3 continuous casting plant (No.3 CC) started to run since one and a half years ago at Chiba Works. This is a report about the slab yard foundation of No.3 CC based on various data from the indoor test, field test, soil improvement and follow-up investigations later. After forecasting shearing stress, settlement and lateral displacement of the ground, the authors planned the foundation of the slab yard, and measured the same data during the construction and after the completion of No.3CC. Then a slight difference was observed between the data in lateral displacement of some foundations and the originally predicted data. Now the advance of displacement has stopped, and it is considered this foundation has been stabilized.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

千葉製鉄所西工場の軟弱地盤における スラブヤード基礎の設計

川崎製鉄技報

15(1983)1. 52-60

西山 領* 城 郁夫**

A Design of Slab Yard Foundation on a Weak Ground

Satoru Nishiyama, Ikuo Jo

要旨

千葉製鉄所第3連続鋳造設備が稼動して約1年半になる。そのスラブヤードについて、室内実験、現場試験、地盤改良および追跡調査の資料をもとにまとめた。連続鋳造設備の建設前に、地中のせん断応力、地盤沈下、地盤の水平移動量を予測し、スラブヤードの基礎設計を行った。建設中および稼動後の測定によると、地盤強度、地盤沈下は問題なかったが、クレーン基礎の一部が、横方向に約3 cmほど移動していた。その最大の原因は、転炉スラグの膨張と考えられる。現在ではクレーン基礎の移動はほぼとまり、安定域に入っている。

Synopsis:

No. 3 continuous casting plant (No. 3 CC) started to run since one and a half years ago at Chiba Works. This is a report about the slab yard foundation of No. 3CC based on various data from the indoor test, field test, soil improvement and follow-up investigations later. After forecasting shearing stress, settlement and lateral displacement of the ground, the authors planned the foundation of the slab yard, and measured the same data during the construction and after the completion of No. 3CC. Then a slight difference was observed between the data in lateral displacement of some foundations and the originally predicted data. Now the advance of displacement has stopped, and it is considered this foundation has been stabilized.

1. はじめに

千葉製鉄所西工場は、昭和44年の埋立て護岸の建設を始めとし、埋立て、地盤改良、第6高炉関連設備基礎建設にいたるまで、すべてが軟弱地盤とのたたかいであった。第3連続鋳造設備(以下No.3 CCと略記)の建設が始まった昭和54年8月時点では、表層地盤は安定しているものの、中・深層地盤は相変わらず軟弱であり、地盤の強化が必要であった。

No.3 CC建設に際して、特に軟弱地盤対策の必要なものは、地盤を深く掘削するスケールビット、スラブ運搬車両の線路、そしてスラブヤードであった。

本報の対象となったスラブヤードは、スラブ置場、ハンドリング用のクレーン、クレーンのための支柱および基礎、スラブ台車用軌条からなり、構造上は比較的単純な設備である。しかし、西工場のような軟弱地盤におけるスラブヤードの設計は単純容易ではなく、維持補修のしやすさ、経済性等を考慮すると難度の高いものであった。

本報では、スラブヤードの設計について、土木技術的立場から、室内実験、現場試験、地盤改良、追跡調査の諸資料をもとに説明する。

2. 土質概要

当建設用地はFig. 1に示すとおり、西工場の第3製鋼工場の東側に位置している。Fig. 2に標準的な土質柱状図、土質試験結果を示した。

表層は約AP-1 mまで細砂層で、約AP-12mまでがシルト

層、その下に層厚にして約6 mの細砂層が、また約AP-28mまではシルト層が続いている。ここまでの軟弱層であり、いわゆる地盤改良の対象地盤層である。以下約AP-34mまでは、N値約30程度の砂層となり、約AP-40mで基盤層とみられる洪積層(成田層)に至っている。

3. スラブヤードの設計

一般に、スラブ等の重量物を直接地盤上に置くために以下の事項を検討した。

- (1) スラブ荷重による地盤のすべり破壊、土中のせん断破壊が生じないこと。
- (2) 将来、補修が困難なほどの沈下が生じないこと。
- (3) スラブ荷重による地盤の側方移動が生じないこと。
- (4) スラブ荷重が台車軌条に悪影響を与えないこと。

3-1 設計上の留意事項

スラブヤードを設計するにあたっては、以下の諸点に留意した。

- (1) スラブ重量の影響で、クレーン支柱基礎が横開きを起さないこと。
- (2) スラブを置く範囲、位置に特別の制限がないこと。
- (3) 将来の変更を考慮した、改造しやすい基礎構造であること。
- (4) 転炉スラグ等、所内発生資材の有効活用を図ること。
- (5) 建設費が安価であること。

* 千葉製鉄所土建部長
〔昭和57年11月25日原稿受付〕

** 千葉製鉄所土建部土木課主任部員(課長補)

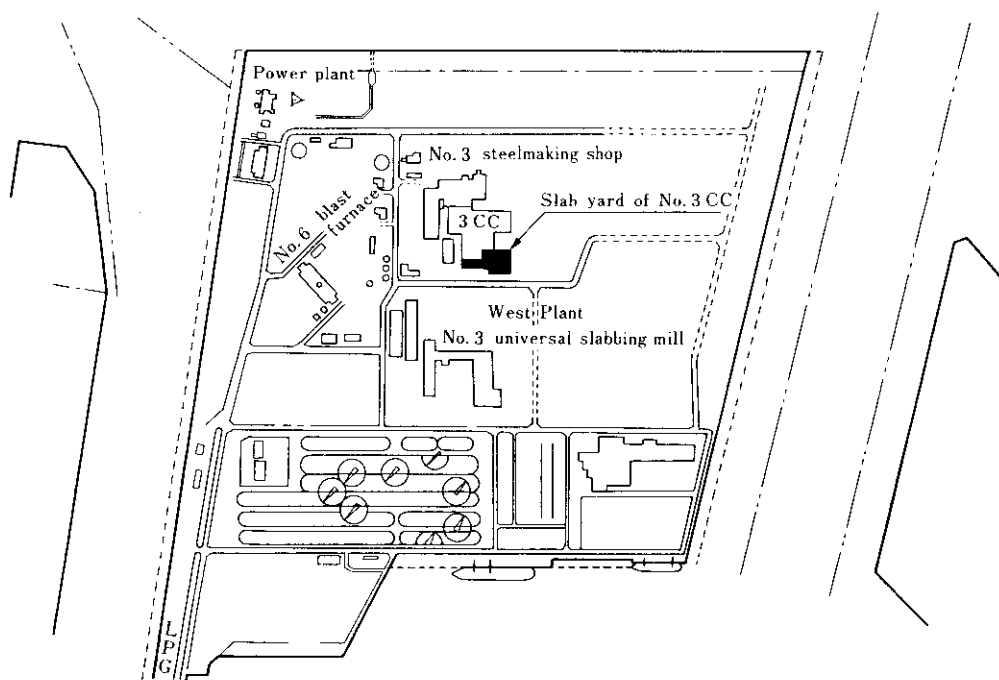


Fig. 1 Location of the slab yard of No.3CC at Chiba West Plant

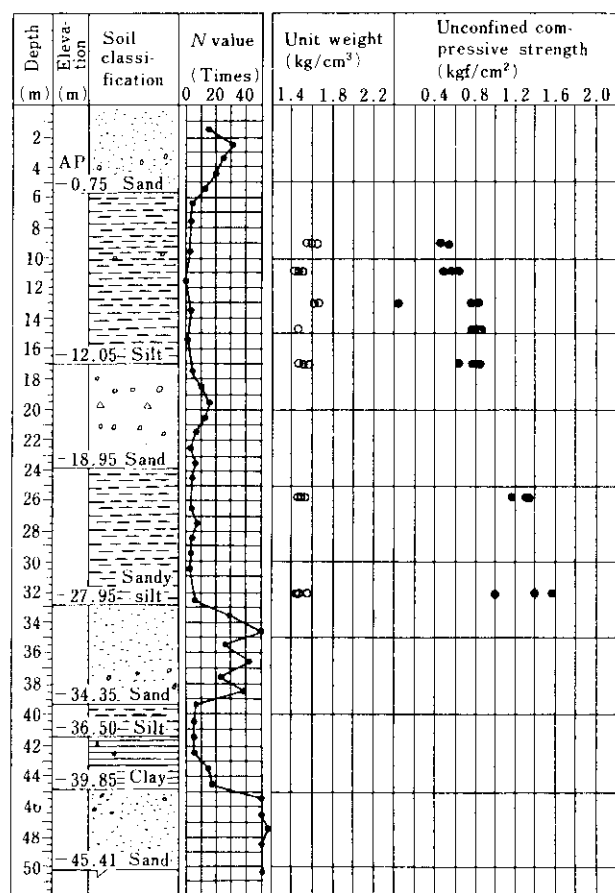


Fig. 2 Soil profile before improvement

3.2 工法の選択

当地区のように軟弱な土質条件下での工法としては、以下の方法が考えられる。

(1) ヤード及び周辺地盤をある程度改良し、クレーン支柱およびスラブ荷重は鉄筋コンクリートを介して先端支持杭で支える杭基礎方式。

(2) ヤードおよび周辺地盤を(1)以上の地盤に改良し、クレーン支柱は杭基礎にし、横開き防止のため、両側の基礎をタイプルで継ぐタイプル方式。

(3) ヤードおよび周辺地盤を(2)以上の地盤に改良し、クレーン支柱は杭基礎とし、スラブ荷重は、改良地盤に直接かける改良方式。

このうち、杭基礎方式が最も安定しているが、建設コストが大きいので、できることならさけたい。

タイプル方式は比較的安価で、また他工場等の実績もある。圧密沈下に対する土砂の補充、タイプル張力の調整は比較的容易にできるが、杭の変形による応力度の増加予想はかなり困難となる。また、将来改造時のタイプルの役割が不明であるのでさけたい。

最後の改良方法が、今回用いた工法である。建設コストは小さく、改造時の対応が容易であるが、土木技術上の詳細な検討が事前に必要である。

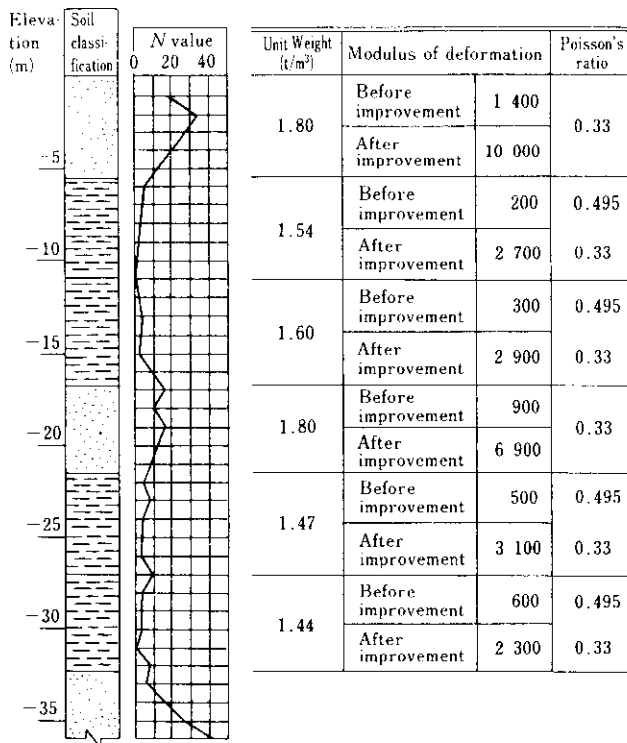
3.3 設計計算と実施工法

Table 1 に、FEM (有限要素法) 解析に用いた諸定数を示す。

また、盛土荷重およびスラブ荷重をかけ、沈下量および水平変位量をFEMにて算出した結果を Fig. 3, 4 に示す。スラブヤード稼動後の変位は微量であることが、この結果から推定される。

次に、実際に採用した工法について以下に説明する。

- まず地盤全体を、サンドドレーン (以下S.D.と略記する) とディープウェル (以下D.W.と略記する) で簡単に改良する。
- スラブヤードにサンドコンパクションパイル (以下C.P.と略記する) および水和コンパクションパイル (以下H.C.P.と略記する) を打設する。

Table 1 Modulus of deformation and Poisson's ratio before and after soil improvement

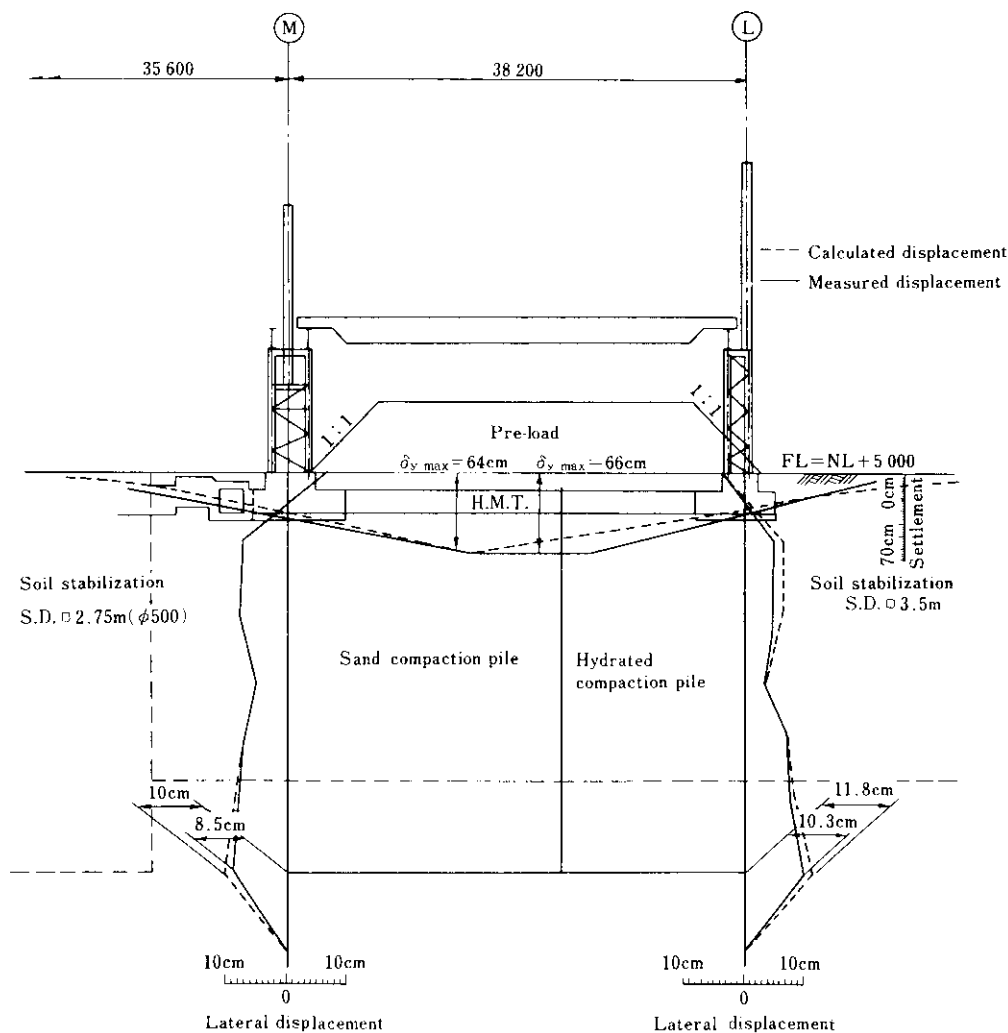
- (c) 総重量約5万t、1平方m当り12tのサーチャージをかけて放置し、圧密を進行させる。
 (d) 地盤の安定後、荷重を撤去する。
 (e) クレーン支柱基礎のコンクリート下面まで掘削し、鋼管杭を打設し、基礎コンクリートを打設する。
 (f) ヤード下を水和マンモスタンパー（以下H.M.T.と略記する）で締固め、その上を砂で埋戻し、最上層はバラス敷きを行い、転圧する。

H.C.P.およびH.M.T.は、ともに転炉スラグを主材料として用いた地盤改良工法である。載荷重は、大きいほど改良効果が期待できるが、盛土期間にも制限があり、単位面積当りの設計荷重の約2倍の12t/m²とした。クレーン支柱基礎は、鉛直方向にも相当の精度が要求されるので、鋼管杭を支持層まで打設した。

スラブヤードの標準断面を Fig. 5 に示す。

4. 室内および現場試験

新しい工法かあるいは余り使用されていない工法については、まず室内実験の基礎資料に基づいて方向づけを行い、現場試験において効果を確認した。

**Fig. 3** Comparison of calculated and measured displacement of ground by pre-load

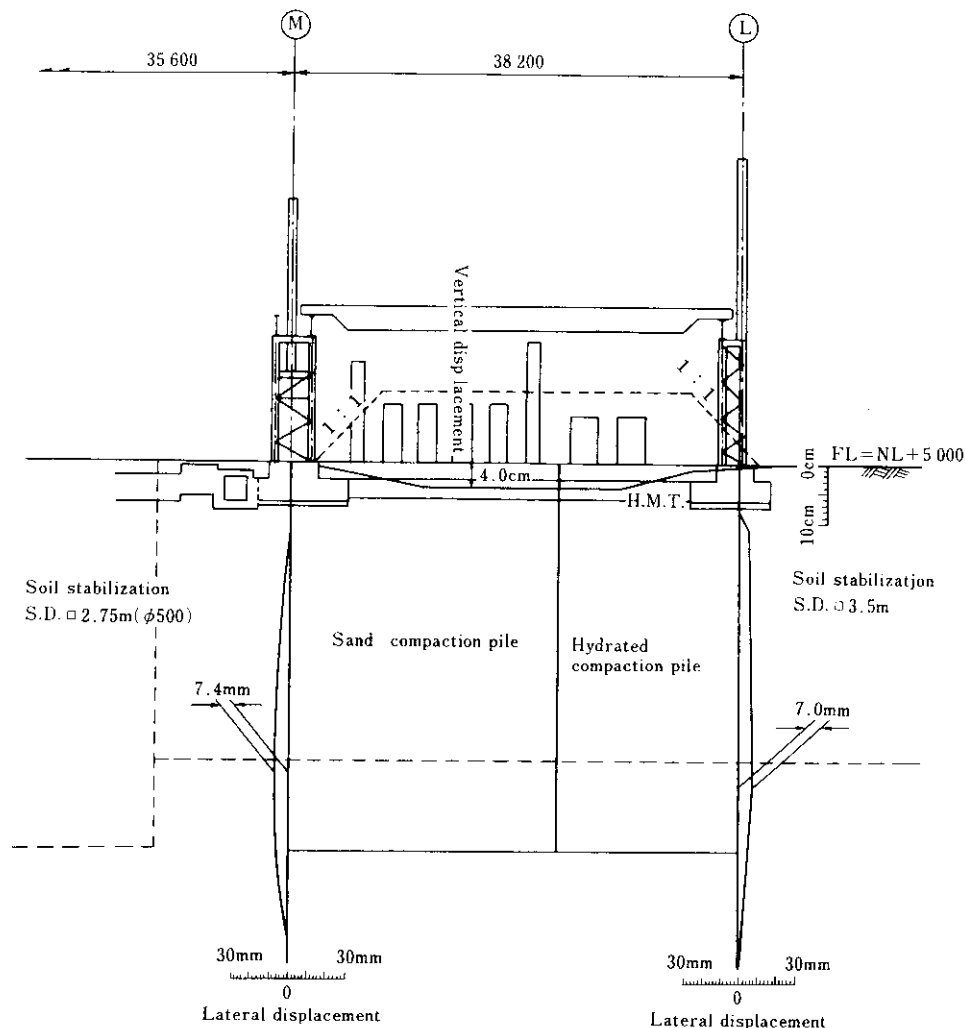


Fig. 4 Calculated vertical and lateral displacement by slab loading

4.1 室内試験

転炉スラグの粒度分布を Fig. 6 に示す。一般にサンドドレン等に用いる砂に比較して、粒径は大きいものが多い。

転炉スラグの突固めエネルギーと透水係数との関係を Fig. 7 に示す。粒径が 0～20mm の場合の透水係数が砂（粒径 0～5 mm）に比較してやや小さいように思われる。しかしながら、粒径が 0～40mm の場合は $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ cm/s}$ と極めて良好な透水性を示しており、周辺地盤の脱水圧密を期待する場合に適している。

Fig. 8 に、突固めエネルギーと乾燥密度の関係を示す。スラグコンパクション工法（以下 S.C.P. と略記する）のスラグの乾燥密度は、 $2.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ 程度と思われる。

粒径 0～20mm のスラグにセメントを混ぜて締固めた場合の、セメント添付量と一軸圧縮強度との関係を Fig. 9 に示す。セメント量が 50 kg/m^3 の場合の一軸圧縮強度は $5 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ で、目的によっては十分な強度を示す。この場合の透水性は $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$ で、かなり小さい。

粒径が 0～20mm の転炉スラグの、膨張量と経過日数との関係を Fig. 10 に示す。傾向としては、エージング期間の短いものほど膨張率は大きい。ほとんどエージング期間のないものは膨

張率が 0.6% に達し、しかもまだ膨張の進行過程にある。一方エージング期間の長いものは、ほとんど膨張していない。また膨張率のバラツキもエージング期間の短いものほど大きい。

4.2 現地調査および試験

地盤改良中の沈下量から、砂を用いた C.P. と転炉スラグにセメントを混ぜて締固めた H.C.P. の、パイル周辺地盤に対する荷重分担は、それぞれ 5 倍および 9 倍程度と考えられる。

セメント混りのスラグをマンモスタンパーで締固めた H.M.T. では、転炉スラグの明らかな膨張は確認できなかった。

地盤改良をほどこした地盤に、Fig. 11 に示すようにスラブを載荷し、周辺地盤の沈下、地表面変位、地中変位を調査した。その結果を Fig. 12 に示す。No. 3 CC 稼動後のスラブ載荷状況とは、総荷重の点で全く異なるが、局所的な変形等に対しては、将来を予測するに十分資するものと考えられる。

5. 実測値と考察

スラブ載荷時の地中内作用せん断力と、地盤改良後土質調査資料から算出した上の抵抗せん断力を Fig. 13 に示す。抵抗せん断力が作用せん断力のはば 2 倍以上の値を示している。

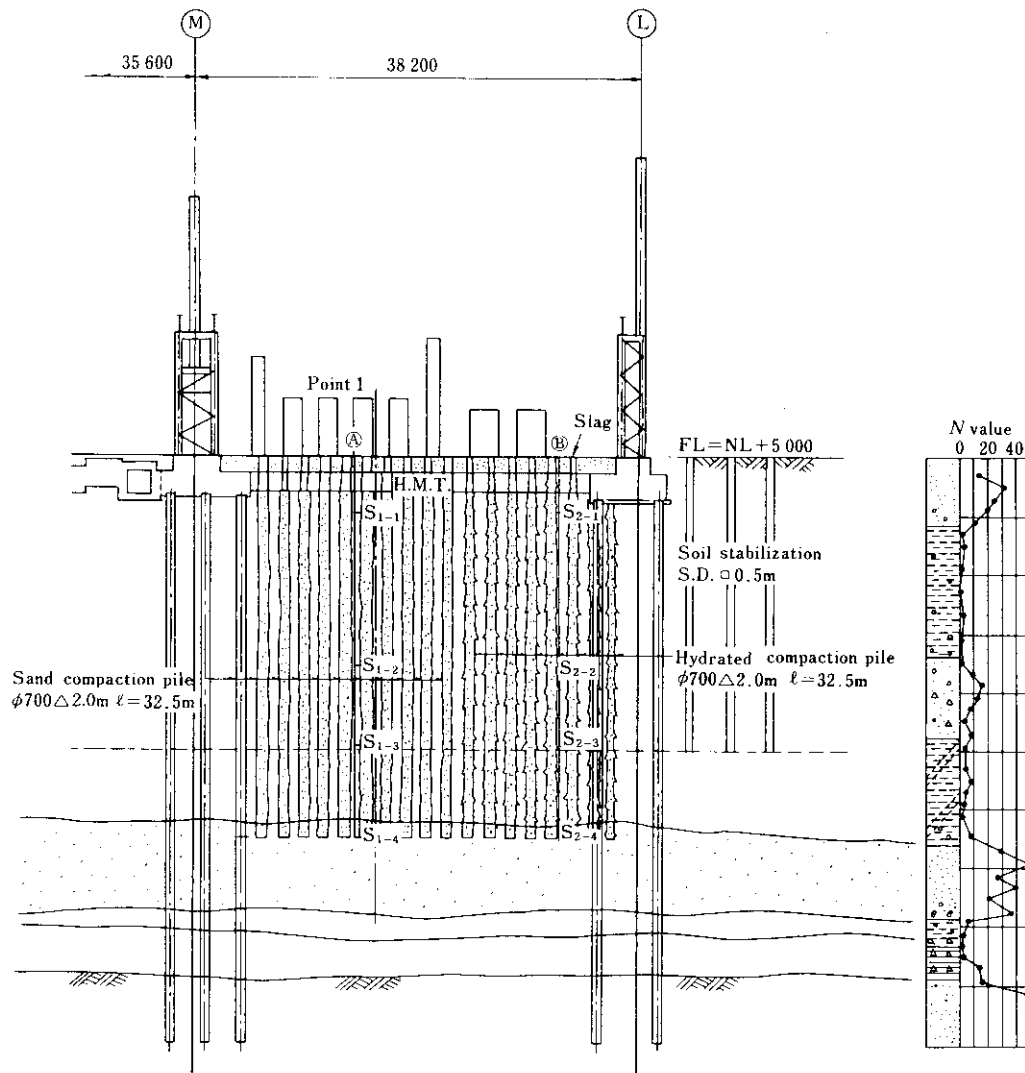


Fig. 5 Standard typical section of the slab yard

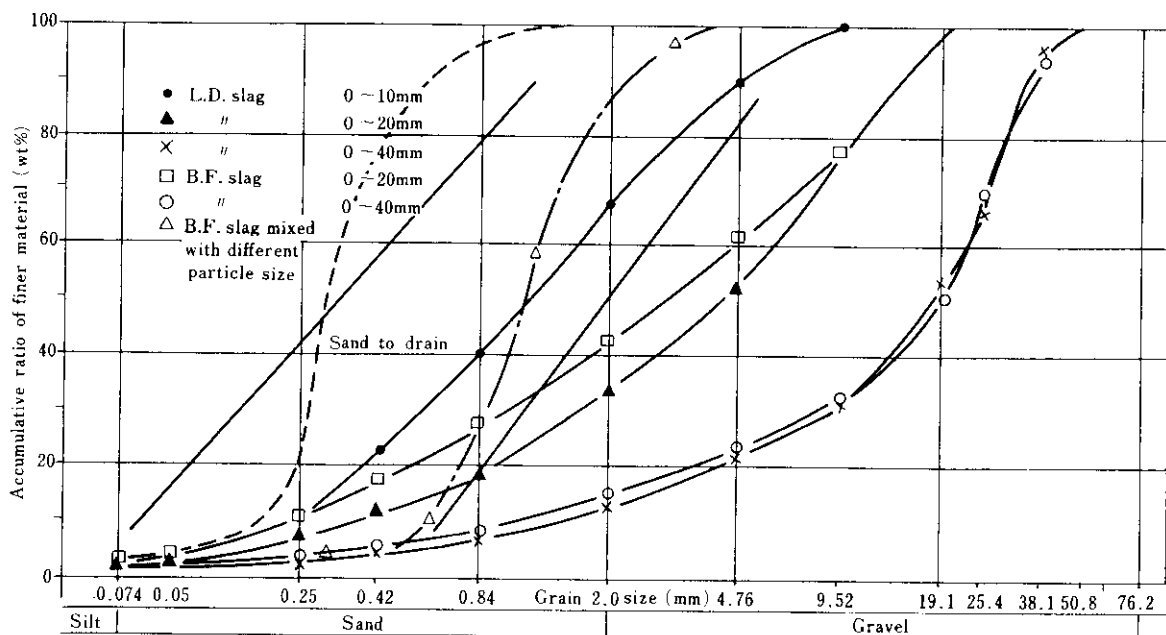


Fig. 6 Grain size accumulation curves for sand and slag to drain

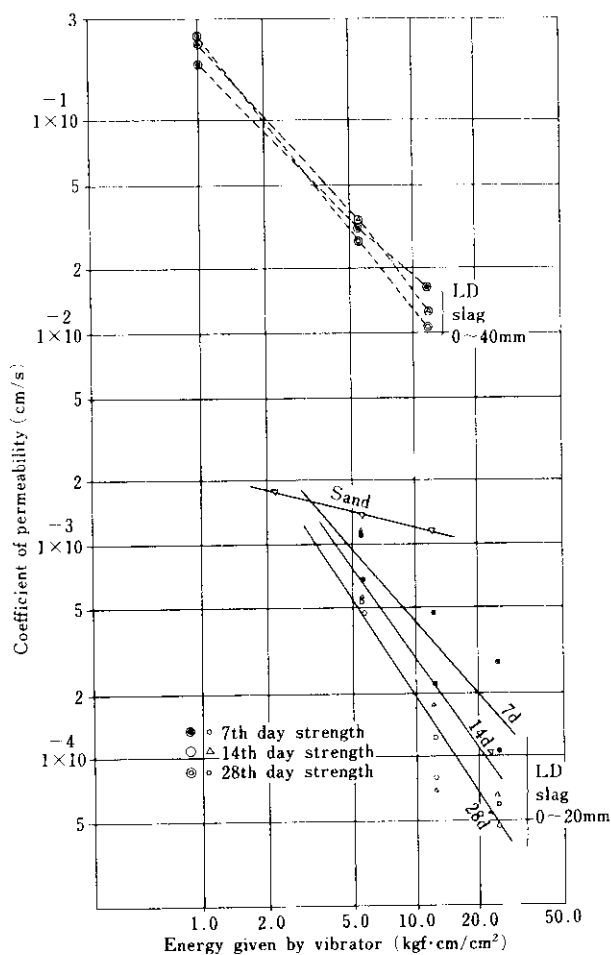


Fig. 7 Effect of energy given by vibrator on coefficient of permeability of LD slag

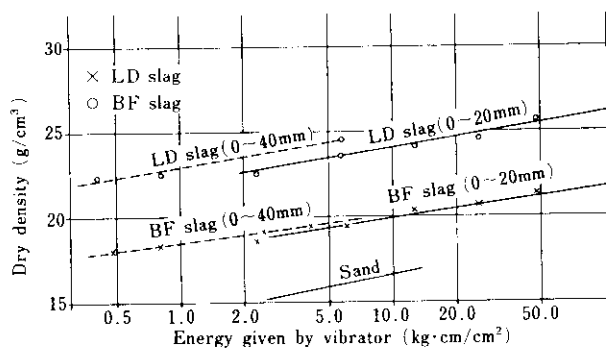


Fig. 8 Effect of energy given by vibrator on dry density

地盤改良中の圧密沈下曲線がほぼ安定域に入ったところで盛土を除去し、リバンド量を調査した。Fig. 14, 15 に沈下、リバンド量を示す。C.P.打設部と H.C.P.打設部の地盤の沈下量が明らかに異なるが、これは C.P.と H.C.P.の荷重分担の差と考えられる。リバンド量は 5～7.5cm であるから、盛土荷重の半分に値する 6 t/m²の将来実用荷重に対しては、ほとんど沈下しないものと推定される。盛土载荷中および撤去後の GL-10m 地点での水平移動の経時変化を Fig. 16 に示す。盛土除去後ある程度変形が復元するが、将来のスラブ荷重による大幅な水平移動はないものと思われる。

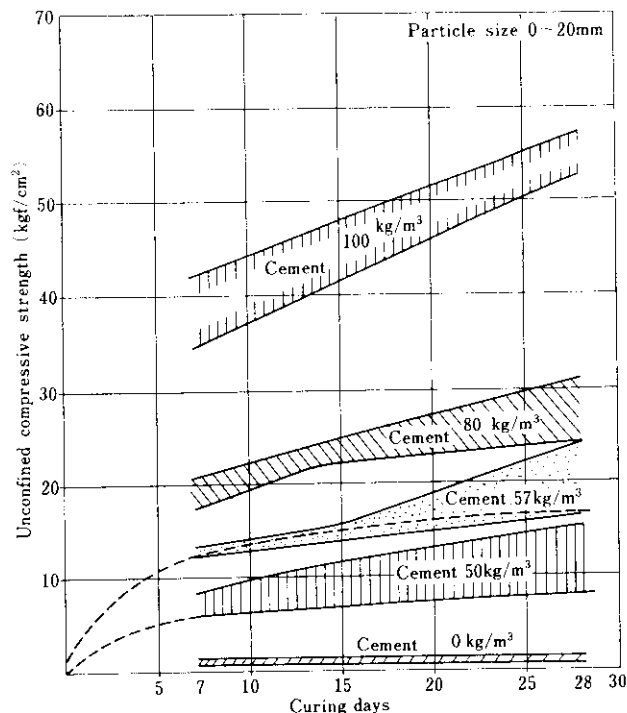


Fig. 9 Change of unconfined compressive strength of LD slag (0~20mm) mixed with cement during curing days

6. スラブヤードの稼動後の状況

No. 3 CC 稼動 (昭和56年4月10日) 後、相当量のスラブがヤードにおかれているが、地盤のすべり破壊・土中のせん断破壊の形跡はない。沈下も局部的には数 cm あるが、定期的に整地し、機能には全く支障をきたしていない。また、台車軌条にも何の影響も生じていない。ただ、クレーン支柱基礎が水平方向に変化を生じている。Fig. 17 に、No. 3 CC 稼動後のクレーン支柱基礎の水平移動の経時変化を示す。スラブヤード西側の支柱基礎が徐々に外側に動き出し、半年後には、動きの激しい基礎では約 3 cm に達した。

水平移動の理由としては、

- (1) 地盤改良後表層を掘削したが、埋戻し後の転圧が不十分であったため、横方向の地盤反力が低下したこと。
 - (2) H.M.T.に用いる転がスラグは、工程の都合上、エージング期間が十分にとれず、施工後の膨張が生じたこと。
 - (3) 地盤改良範囲 (ヤードの西側) が小であったこと。
- 等が挙げられる。

特に(2)の転がスラグのエージング期間不足による膨張が、最大の原因と思われる。エージング期間が十分なスラグの膨張率は、Fig. 10 から 0.1% 以下と推定される。したがって、対象 H.M.T.のスラグ幅を 15m とすると、膨張量は 1.5cm となる。エージング期間の不十分なスラグの膨張率を、同様に Fig. 10 から 4% と見込むと、膨張量は 6 cm となる。

対策としては、動きの激しい基礎は掘削し、H.M.T.と基礎との間に 50cm の間隔を設けた。また、余剰インゴットケースを、押え荷重として、ヤードの外側 (西側) に仮置きした。

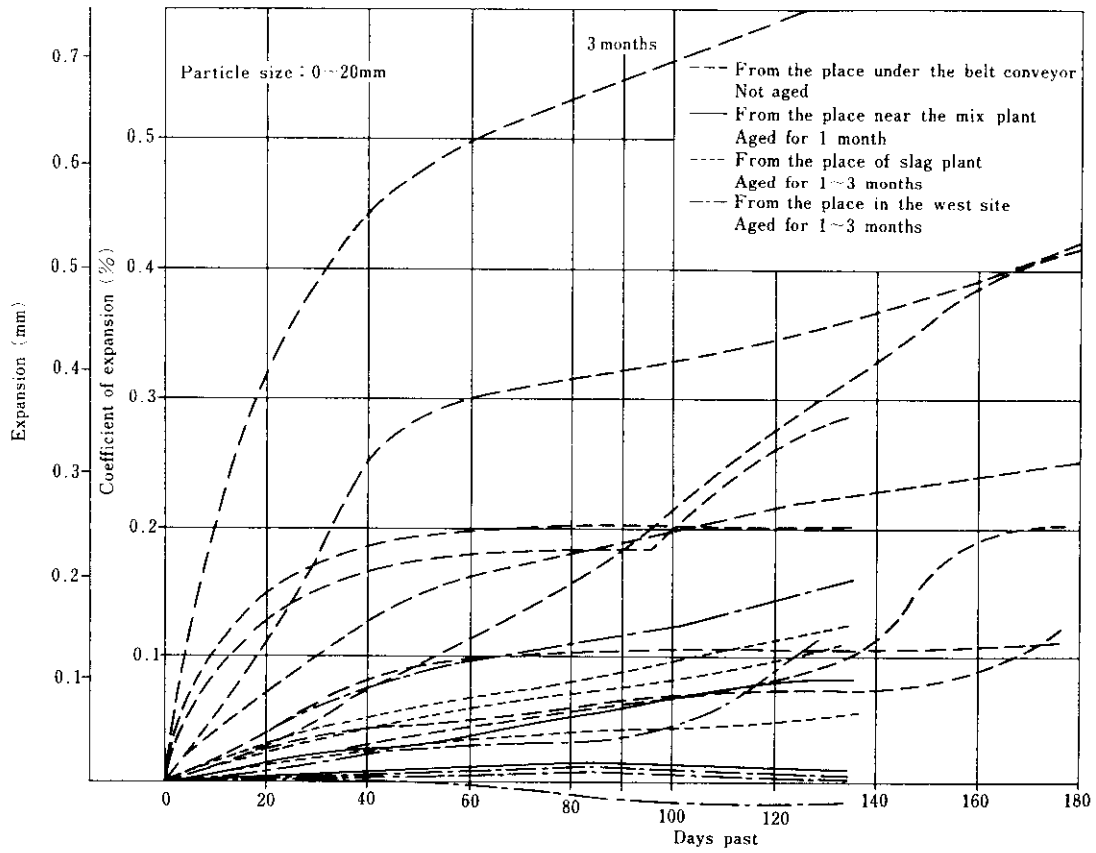


Fig. 10 Expansibility of LD slag in comparison of several pre-aging periods

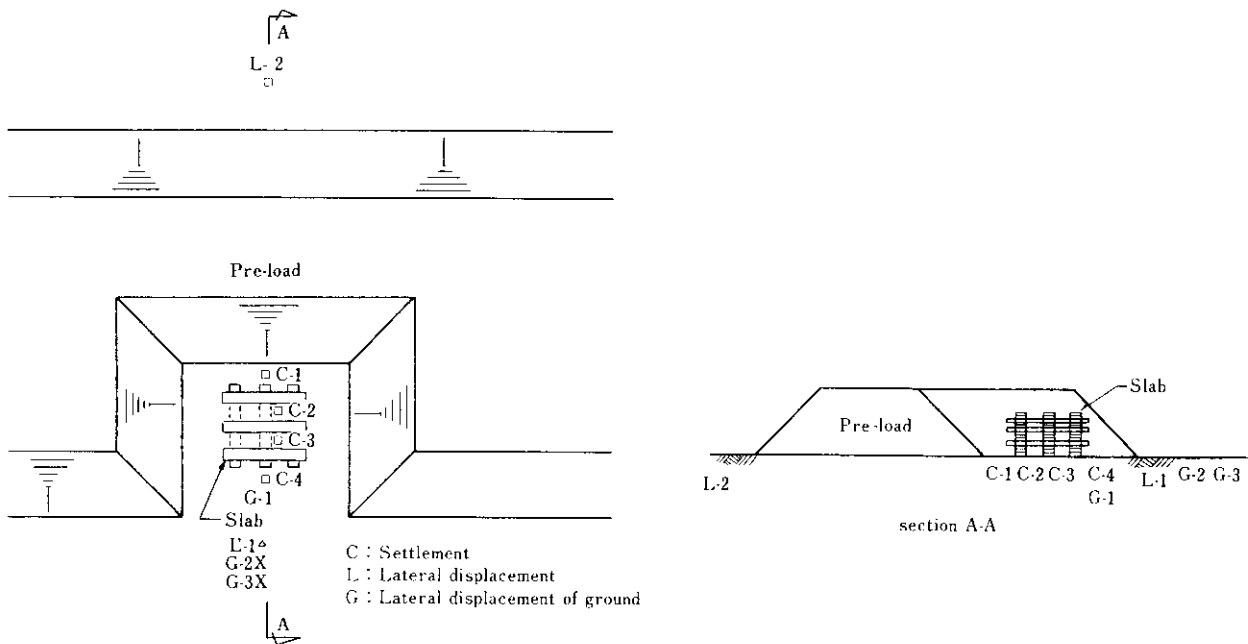


Fig. 11 Plan for displacement test by partial slab loading

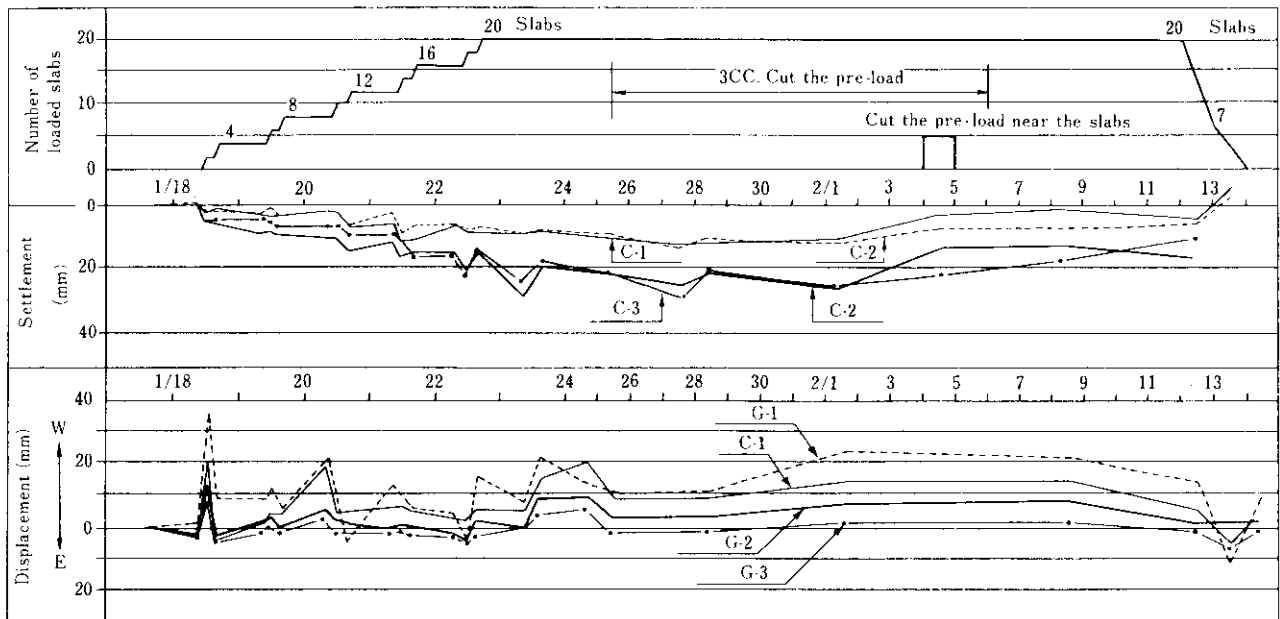
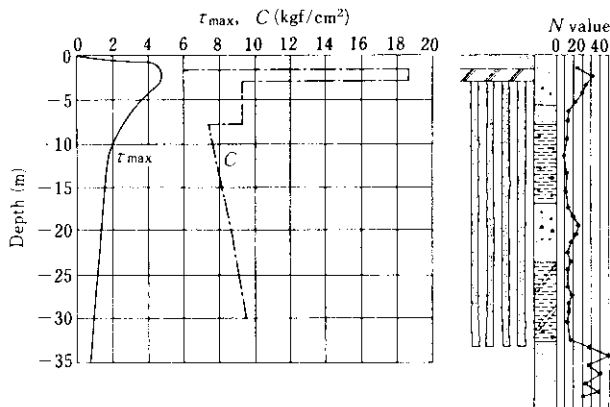


Fig. 12 Change of settlement and lateral displacement by partial slab loading

Fig. 13 Soil improvement performance in terms of cohesion, $C = q_u/2$, in comparison with the calculated shearing stress, τ_{max} , at the point 1 for full loading of scheduled slabs

7. おわりに

No. 3 CCスラブ置場の設計は、過去の西工場諸建設の例にもれず、地盤が軟弱であることから、慎重を期し、不明な点は室内、現場実験にて疑問点を事前に確認して行った。しかし実際には、工程上の制約はあるものの、エージング期間不足の転炉スラグを用いたこと、また土砂埋戻し後の転圧が不十分であったこと等、現場での品質管理に徹底を欠いたことを反省している。

現在（昭和57年10月）では、支柱基礎の動きは応急対策によりほぼ止まり、安定域に入っている。

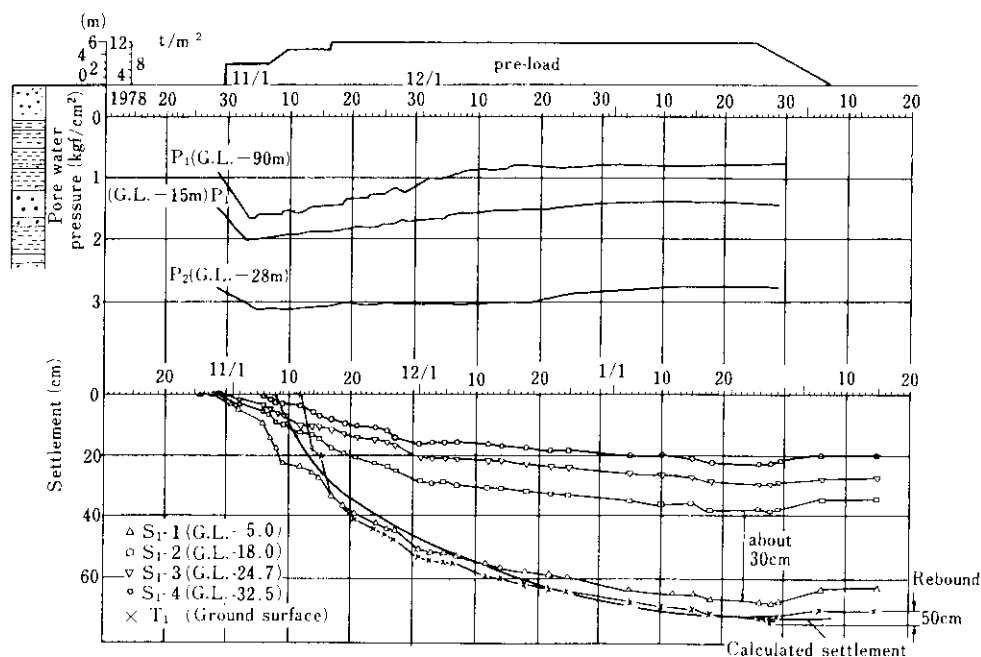


Fig. 14 Change of pore water pressure and settlement at the A point in Fig. 5 with the progress of soil improvement

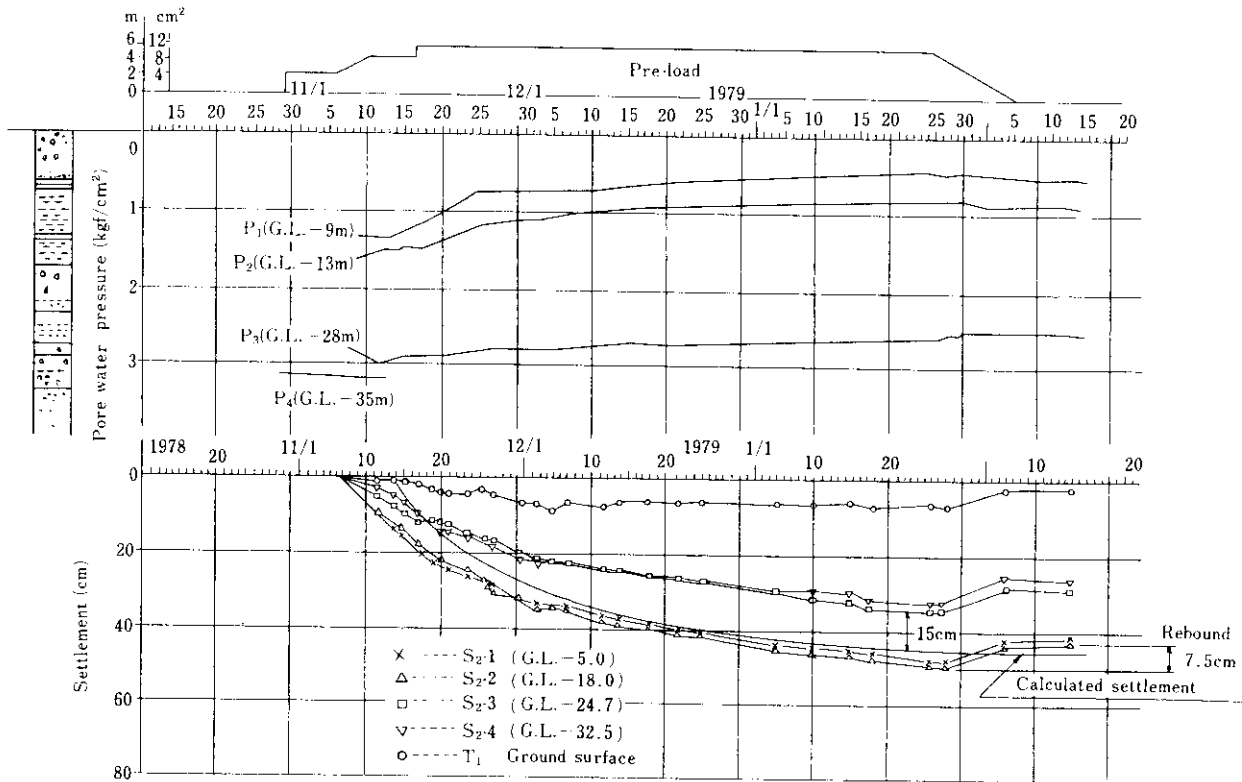


Fig. 15 Change of pore water pressure and settlement at the B point in Fig. 5 with the progress of soil improvement

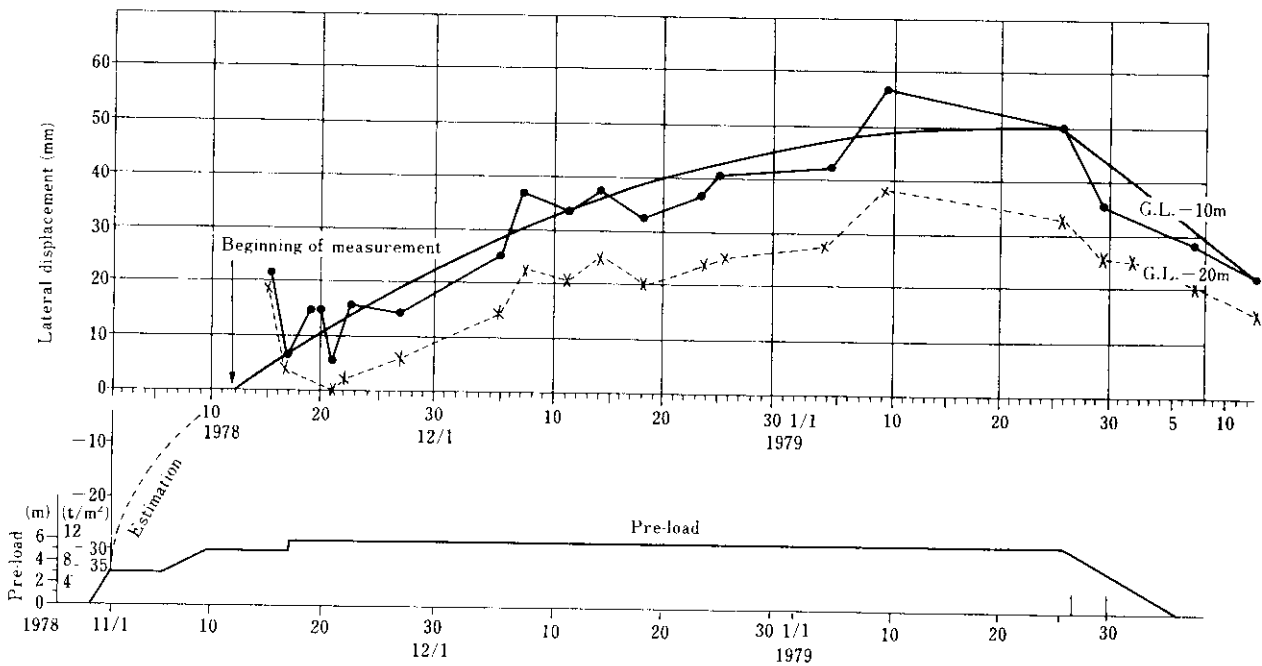


Fig. 16 Change of measured lateral displacement of ground at the points of G.L. -10m and G.L. -20m

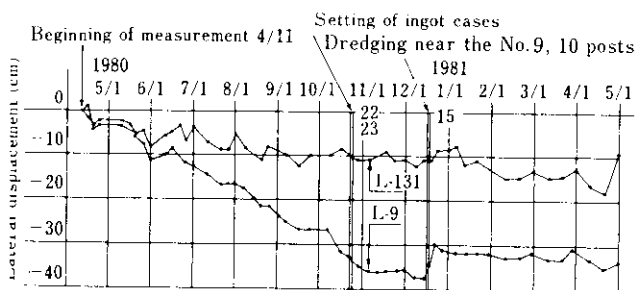


Fig. 17 Change of measured displacement of the foundation for crane by slab loading

おわりに、設備の建設に伴う実験、実測および資料整理に協力していただいた、鹿島建設(株)、不動建設(株)、清水建設(株)の諸氏に感謝いたします。