
超軟弱地盤の堀削と堀削土の処理方法

Dredging of Extremely Weak Ground and Consolidation of the Soil

西山 領(Satoru Nishiyama) 内河 栄作(Eisaku Uchikawa) 城 郁夫(Ikuo Jo)

要旨：

千葉製鉄所から発生する種々の廃棄物処理場予定地は超軟弱地盤地帯であった。そこで特殊掘削船および混練り装置を主とする軟弱土処理工法を開発し、掘削を実施した。軟弱土の処分は海上投棄と陸上巻出し処分に分けた。特に陸上巻き出し処分については、軟弱土を混練り装置でセメントおよび転炉スラグを添加攪拌し、一般の土砂として扱えるほどに固結強度を増した。昭和 57 年 6 月まで軟弱土処理を行い、廃棄物にて埋立て造成は昭和 62 年で完了することになる。

Synopsis：

Since the area of the proposed yard for disposing of various wastes generated at Chiba Works is extremely weak ground, a dredging and consolidation method mainly employing a special grab dradger and mixing plant has been developed and put into actual use. The soil disposal is divided into sea dumping and land dumping. In land dumping, cement and LD slug are added to the soil and mixed by the mixing plant. The mixture has become consolidated soil that can be used in the same way as ordinary earth and gravel. The dredging of the weak ground will be completed by June, 1982 and reclamation and land formation with wastes will be completed by 1987.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

超軟弱地盤の掘削と掘削土の処理方法

Dredging of Extremely Weak Ground and Consolidation of the Soil

西山 領*
Satoru Nishiyama

内河 栄作**
Eisaku Uchikawa

城 郁夫***
Ikuo Jo

Synopsis:

Since the area of the proposed yard for disposing of various wastes generated at Chiba Works is extremely weak ground, a dredging and consolidation method mainly employing a special grab dredger and mixing plant has been developed and put into actual use. The soil disposal is divided into sea dumping and land dumping. In land dumping, cement and LD slug are added to the soil and mixed by the mixing plant. The mixture has become consolidated soil that can be used in the same way as ordinary earth and gravel. The dredging of the weak ground will be completed by June, 1982 and reclamation and land formation with wastes will be completed by 1987.

1. はじめに

近年の経済の高度成長と国民生活の向上に伴う大量生産、大量消費活動の結果、廃棄物の発生量は年々増加の一途をたどっており、その処分問題は全国的規模で深刻化している。殊に千葉県では工業化の進展と、ニュータウン達成に伴う人口の集中化により、産業廃棄物および一般廃棄物が急激に増加しつつある。

当社千葉製鉄所では、所内で発生する廃棄物の処分は、その有効活用も含めて重要課題として取組んでいる。土建部としても、転炉スラグを地盤改良用材として、実際に数万t使用し、有効活用としての成果を上げている。本報告では、当廃棄物処分分子定地の土木工事について述べる。Fig. 1にその位置を示す。

2. 土質概要

千葉製鉄所の産業廃棄物処分分子定地は西工場の北西部に位置し、旧海底地盤および埋立て地盤ともに非常に軟弱であった。特に当地区は埋立てが本工場よりの水深の浅い部分から開始されたため埋立て土砂の水による分級作用により、シルト分が流され堆積していた¹⁾。処分場確保のための掘削工事に先だち当地区の土質調査を行った。柱状図・標準貫入試験・一軸圧縮強度および含水比の代表的な値をFig. 2に示す。

地表面から旧海底のAP(荒川ポイント) - 10.0 mまでの埋立て層はN値は0, q_u 値も $0.03 \text{ kgf/cm}^2 \sim 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ と小さく、含水比は約130%と大きな値を示している。旧海底以深の在来地盤もA.P - 30.0 mまでは埋立て層より多少条件が良くなる

* 千葉製鉄所土建部部長

*** エンジニアリング事業部土木技術部(千葉駐在)主任(掛長待遇)
〔昭和56年3月31日原稿受付〕

** 千葉製鉄所土建部副部長

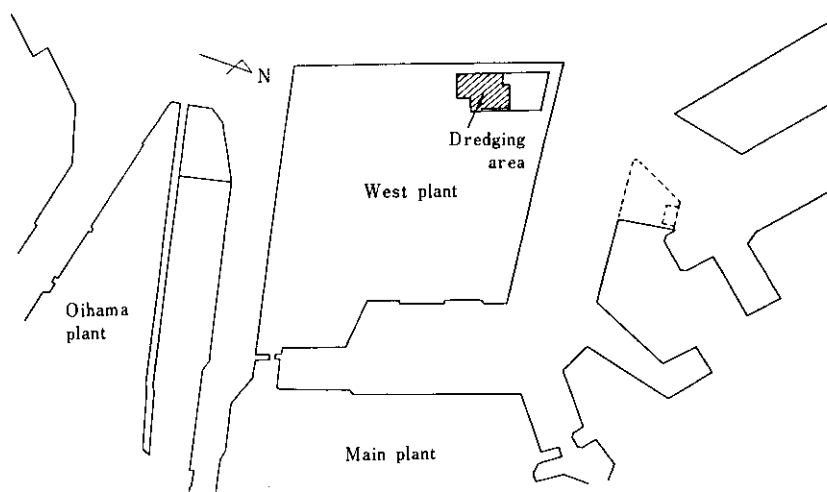


Fig. 1 Location of dredging area

にせよ、ほぼ同等の値を示し、ともに超軟弱地盤であることがわかる。掘削深さは A.P-8.0m を標準とし、局部的に A.P-12.0m であることから、この 2 層が検討対象地盤となる。

3. 廃棄物処分場の土木工事概要

廃棄物処分場の土木工事は、処分子定地面積の約半分を掘削し、工場より発生する数十万 t の種々廃棄物を処分しうるうつわを確保すると同時に安全に埋立て造成することである。掘削の平断面を Fig.3 に示す。

掘削および廃棄物埋立ての実施に当り、問題点を上げると、

- (1) 掘削深さが地表面から 12m、局部的には 16m と深いこと。
- (2) 掘削対象面積が広いこと。
- (3) 地盤が広範囲に、および深層部まで軟弱であること。
- (4) 既設護岸までの距離が比較的に短く、護岸への悪影響のないようにすること。
- (5) 工場廃棄物の埋立てを、掘削の進行とともにを行い、当地区内での掘削工事と埋立て造成との同時作業が発生すること。となる。

したがって、当地区での作業は、

- (1) 接地区の小さい掘削機械、土運搬装置である

こと。

- (2) 掘削能力が大であること。
- (3) 埋立て用機器の重量が小であること。
- (4) 掘削作業と埋立て作業との錯綜の少ない工法であること。
- (5) 地盤破壊の恐れのある区域内での人的作業の少ないこと。

を満たすことが必要条件となる。

例えば掘削においては、一般的な陸上掘削機械即ちバックホー、クラムセル等では作業不可能であり、特殊掘削船を考案し、実施にいたった。掘削した軟弱土の運搬方法は湖上ではフローティングコンベアを用い、陸上部の運搬にもコンベアを使用することにした。廃棄物にての埋立て造成も簡易ベルコンにて行う計画である。

掘削された軟弱土は陸上運搬された後、岸壁から、土運搬に積込まれ、所定の海域に投棄される。また軟弱土の一部は混練装置で攪拌固結され、陸上に処分される。この軟弱土の掘削から処分までの一連の処理工法を、軟弱土のトータルシステム処理工法と称し、開発し、実施した。

3.1 トータルシステム処理工法の特徴

Fig.4 に概略図を示す。埋立て地等の軟弱土を安全に効率良く処分する工法である。工場用地や住宅地等が種々の理由で、結果的に海底泥土等の

Depth : m	Elevation : m	Soil classification	Moisture content : %	Unconfined compressive strength : kgf/cm ²	N value					
					10	20	30	40	50	Times
1			152.4	0.044	x					
2			124.5	0.034	x					
3			136.4	0.053	x					
4	Ap-0		105.7	0.055	x					
5			148.6	0.063	x					
6			105.9	0.086	x					
7			134.8	0.092	x					
8		Silt	79.7	0.129	x					
9			133.7	0.132	x					
10			131.3	0.115	x					
11			137.9	0.162	x					
12					x					
13			146.9	0.145	x					
14	Ap-10				x					
15			54.9	0.245	x					
16					x					
17			80.5	0.258	x					
18					x					
19					x					
20			64.5	0.195	x					
21			81.4	0.537	x					
22		Sandy silt			x					
23			88.2	0.445	x					
24	Ap-20				x					
25			82.5	0.571	x					
26					x					
27			60.7	0.460	x					
28					x					
29			92.9	0.705	x					
30		Silt			x					
31			94.3	1.111	x					
32					x					
33			92.5	1.140	x					
34	Ap-30	Sandy silt			x					
35			95.8	1.475	x					
36		Silt			x					
37					x					
38					x					
39		Fine Silt								
40										
41										
42										
43										

Fig. 2 Soil profile

軟弱土で埋立てられた場合、使用に供する安定した地盤になるまで、一般的に長年月を要し、工場あるいは住宅の建設計画に支障をきたすことが多い。従来、人も踏み入ることもできないほどの超軟弱地盤の安定には固化剤を散布したり、埋立て中にドレーン効果のあるストリップを配置し、埋立てと同時に改良効果を期待していた。前者の場合、深部までの改良は困難であるし、後者の場合はそれなりの改良効果はあるものの、決定的な効果は期待できない。いずれの場合も、後に2次的な処置を必要とすることが多い。

昔から、特に海上作業の場合は、軟弱土を掘削除去し、別の良質な土砂と入れ替えることで目的を達成していることに着眼し、すでに埋立て等にて土地ができ上がっている場合にも、全く海上作業と同様の手法を用いることを試みた。

軟弱土の堆積する対象区域に隣接して、特殊掘削船およびフローティングコンベアを浮かべうる人工池を形成し、掘削船はフローティングコンベアの輸送方向に沿って前後に移動可能にしておく。掘削船にて掘られた軟弱土は、フローティングコンベアにて人工池を搬送され、軟弱土領域に沿って配設された陸上コンベアに移る。陸上コンベアの先端部には、海上投棄の際、土運船へ積込むための船積みコンベアおよび軟弱土を改良固結するための混練り装置が設置されている。

特殊掘削船および混練り装置について少し詳細に述べる。特殊掘削船は一度でき上がった土地を掘ることを想定して設計したもので、保管場所から使用場所までの陸上輸送を可能にし、また上載装備の大小、軽重に対応できるようにブロック浮体の集合からなっている。その他、掘削用グラブマシン、受入れホッパーおよびベルトコンベア、フローティングコンベアとの結合装置が主装備である。特殊掘削船の構造を Fig.5 に示す。

混練り装置は、2基のミキサーを有し、運転基数、ミキサーカラムの傾斜、攪拌速度は掘削土の状態、改良目的に応じてある程度自由に变化させることができる。その他、固結剤サイロ、スラリプラント、固結剤計量器等を備えている。代表的な装置を Fig.6 に示す。

固結剤としては、セメントミルク、セメントモルタル、石灰乳濁液、鉍滓粉液他を用いることが

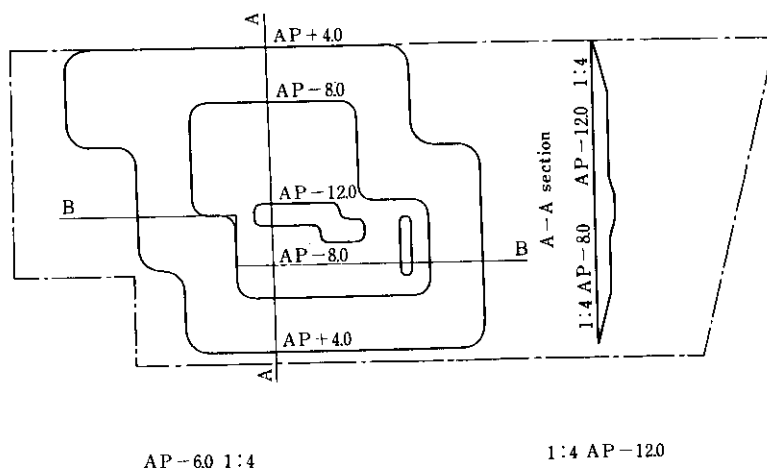


Fig. 3 Plan of dredging

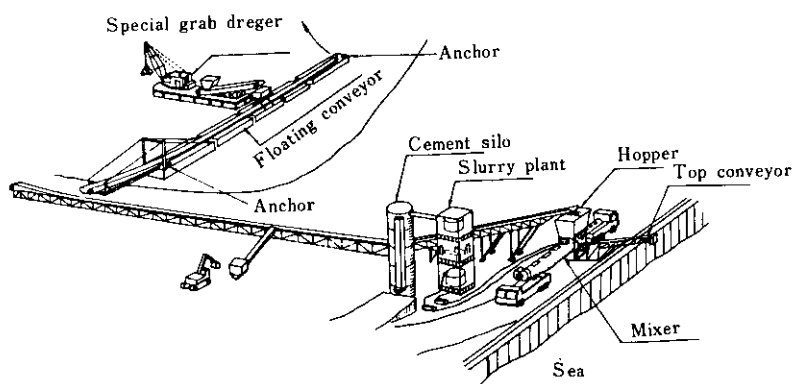


Fig. 4 Dredging and consolidation method of weak soil

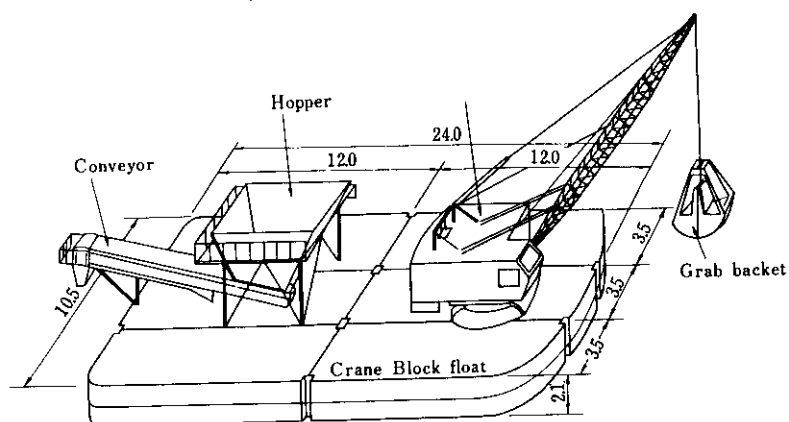


Fig. 5 Design of special grab dredger

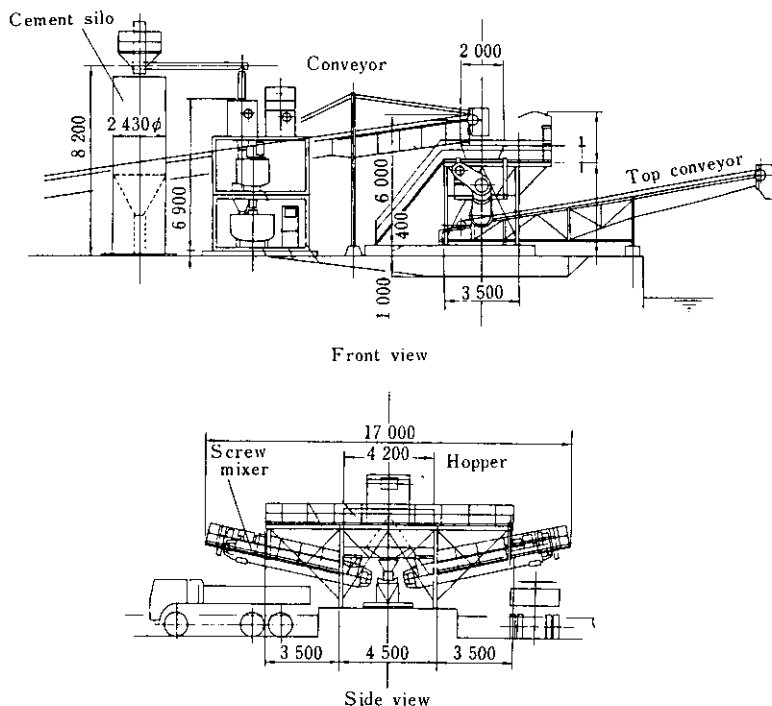


Fig. 6 Plant of mixing consolidation

できる。

以上述べたことからわかるように、軟弱土トータルシステム処理工法とは、対象区域の軟弱土を掘削し、所定の海域へ投棄処分する場合と、混練り装置を経由して改良固結土として同区域あるいは他区域に埋戻す場合との双方の機能を合せ持った工法である。

4. 軟弱土の固結処理について

特殊掘削船にて掘削された軟弱土はコンベアにて船積岸壁まで搬送され、そこから土運船にて所定の場所まで運ばれ投棄される。しかしながら海上投棄は投棄量および投棄期間に制約があり、軟弱土の他の処分方法を必然的に検討せねばならない。即ち場内での陸上処分が発生することになる。

特殊掘削船にて掘られ、コンベアにて搬送された軟弱土は混練り装置で攪拌された後、ダンプトラックにて所定の場所に運搬され、ブルドーザーにてならされる。その際、軟弱土の主成分であるシルトおよび粘土の粒子は互いに結合し、ある程度大きな粒径となり、一般的な土砂として扱うこ

とができるようになる。粒子間の結合度、粒径は添加するセメントや転炉スラグ粉の量によって変化する。

軟弱土の固結度等を確認するために、実施運転に先だち、室内試験、現場試験を行った。

試験に用いた軟弱土は西工場沖合海域の海底より、ポンプ船にて浅瀬埋立てられた粘性土である。この粘性土の基本的性質は自然含水比 130 %、土粒子の比重 2.66、砂分含有量 28 %、シルト分 28 %、粘土分 44 %、液性限界 94.7 %、塑性限界 35.3 %、塑性指数 59.4 %である。

添加した固化剤は普通ポルトランドセメントを主とし、最大粒径 0.088 mm である。また転炉スラグの最大粒径は 2.5 mm である。

(1) 室内試験

軟弱土に対するセメントおよび転炉スラグの添加量と固結強度との関係をつかむための試験である。軟弱土にスラリー状セメント、転炉スラグを各々単独に、あるいはその双方を添加し、モルタルミキサーで 10 分間攪拌後モールドに入れ、整形後水中養生し、各材令日数経過後、一軸圧縮試験により固結強度を確認した。

(a) セメント添加試験

軟弱土 1m^3 に対してセメント量を 10kg ～ 160kg まで変化させたときの一軸圧縮強度を Fig. 7 に示す。セメントの添加量が $30\text{kg}/\text{m}^3$ 以下の場合には改良効果はほとんどみられない。 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 以上になると添加量に比例して圧縮強さが増加している。養生日数による推移も現れている。

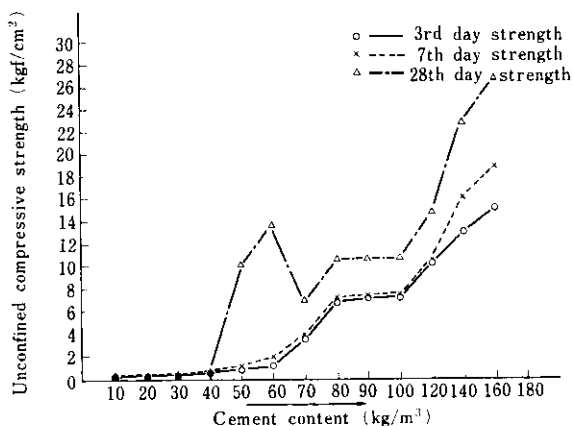


Fig. 7 Relation between unconfined compressive strength and cement contents in weak soil

(b) 転炉スラグ添加試験

転炉スラグ粉添加による軟弱土の改良効果は、転炉スラグ特有の性質である遊離石灰分が多いことによる硬化作用、転炉スラグの吸水による高含水比土の含水比低下作用および粒度組成の変化によるものが考えられる。転炉スラグ量を $50\text{kg}/\text{m}^3$ から $500\text{kg}/\text{m}^3$ まで変化させたときの一軸圧縮強度を Fig. 8 に示す。著しい強度の変化は確認できなかったが、添加量の増加により、強度も増加の傾向にある。しかし転炉スラグのみを軟弱土に添

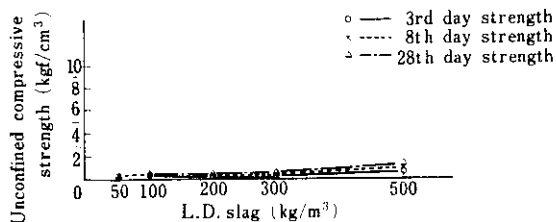


Fig. 8 Relation between unconfined compressive strength and L.D. slag contents in weak soil

加しても、今回使用したスラグの材質、粒径であれば、強度増加効果には限界があることがわかる。操業条件、エージング期間、粒度分布等の固結効果発揮への好条件がそろっている場合は転炉スラグの単独添加による軟弱土の固結処理が考えられるが、一般的には転炉スラグは軟弱土の含水比低下作用と、粒度組成の変化に主眼をおき、主固結剤としてはセメント等を必要とすると考えられる。

(c) セメントおよび転炉スラグ添加試験

セメントの添加量を $20, 40, 60, 80\text{kg}/\text{m}^3$ とし、それぞれの添加量に対して転炉スラグを $50, 100, 200, 300\text{kg}/\text{m}^3$ を添加した。Fig. 9 にセメント量を一定にして転炉スラグ量を変化させたときの一軸圧縮強度を示す。転炉スラグ添加の効果かはっきり出ている。但しセメント添加量 $20\text{kg}/\text{m}^3$ の場合は、転炉スラグを多量に入れても高固結強度は期待できない。セメント添加量を $40\text{kg}/\text{m}^3$ とする場合は転炉スラグが $200\text{kg}/\text{m}^3$ 以上でまずまずの強度を発揮している。セメント添加量が $60, 80\text{kg}/\text{m}^3$ の場合は転炉スラグの量に比して圧縮強度が増加していることがわかる。

(d) セメントの種類別試験

普通ポルトランドセメント、B 種高炉セメント、スタビライト M-1 (商品名) をそれぞれ軟弱土に添加し、固結剤の違いによる一軸圧縮強度の相違を試験した。前述の試験よりセメントの添加量は $40\text{kg}/\text{m}^3$ から $60\text{kg}/\text{m}^3$ 、転炉スラグの量は約 $200\text{kg}/\text{m}^3$ が適量と考えられたので、ここでは固結剤は $40, 50, 60\text{kg}/\text{m}^3$ の 3 種類とし、転炉スラグの量は $0, 100, 200\text{kg}/\text{m}^3$ とした。試験結果を Fig. 10 に示す。いずれの固結剤も添加量が多いほど、転炉スラグ量の多いほど高強度を示している。種類別では B 種高炉セメントを添加したものが普通ポルトランドセメントを添加したものより一軸圧縮強度が劣っていること、また、特殊配合であるスタビライト M-1 は普通ポルトランドセメントに比べて特別の効果を発揮していないことがわかる。このことより使用する固化剤は普通ポルトランドセメントとした。

(2) 現場試験

室内試験では固結剤、転炉スラグの添加量および攪拌が理想的にできるが、多量の軟弱土をスピーディに攪拌固結する現場練りでは必ずしもそう

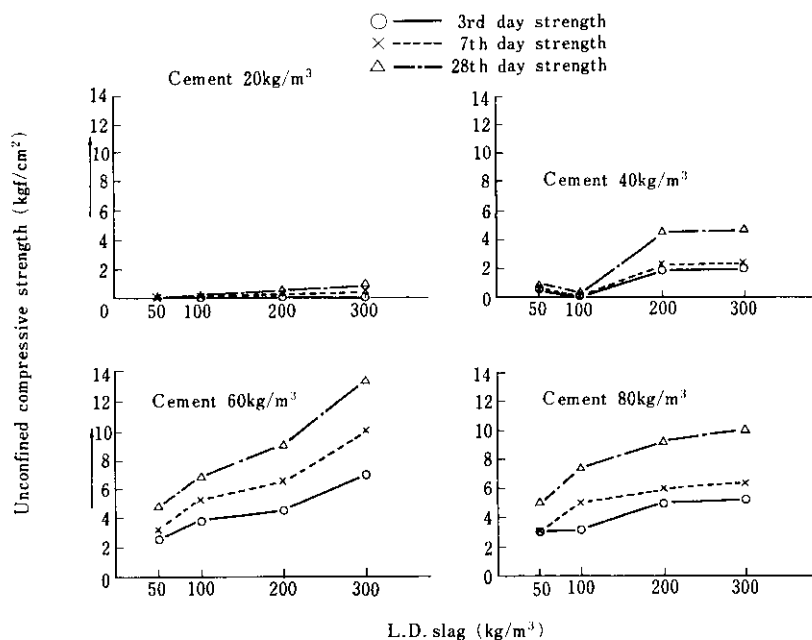


Fig. 9 Relation between unconfined compressive strength, cement and L.D. slag contents in weak soil

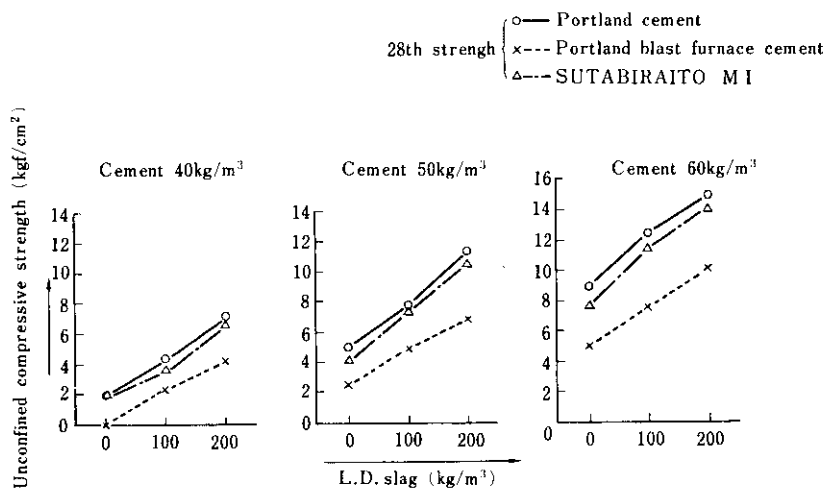


Fig. 10 Comparison of unconfined compressive strength by the use of 3 types of cements

ではない。そこで実際に現場にて使用する混練り装置にて攪拌したもので一軸圧縮強度を試験した。試験方法は前述した特殊掘削船にて掘削された軟弱土をベルトコンベアにて混練り装置に運び、セメントおよび転炉スラグを添加攪拌し、ダンプトラックにて所定の試験用畑に運搬し、捨てる。養生日数経過後、試験土を採取し、一軸圧縮試験を行

った。現場試験の配合は室内試験の結果をもとに決めた。試験結果を Fig. 11 に示す。

室内試験結果と比較するとセメント添加量と圧縮強度との相関がはっきりしていないのは、対象土 1m³ に対してセメントが 40kg から 60kg と土に対する割合が小さいことから、セメント添加量のばらつきが圧縮強度に敏感に影響したものと考えら

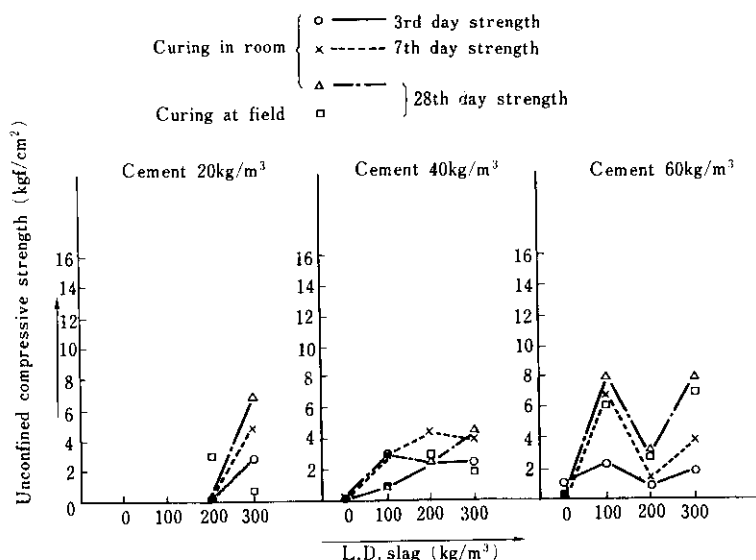


Fig. 11 Relation between unconfined compressive strength, cement and L.D. slag contents in weak soil at field test

れる。また同じセメント添加量であっても、100%の攪拌は不可能であり資料の採取箇所の違いによる強度への影響も出ていると思われる。

したがって、このような条件下であればあるほど転炉スラグ等の補助固結材の添加が重要な意味を持つことになる。試験結果からも相当量以上転炉スラグを添加したものは軸圧縮強度が安定していることがわかる。

なお軟弱土に固結剤を添加し攪拌したものを陸上に巻出し粒子間の固結がある程度進んだ後に、車両等の走行繰り返し荷重や、雨水、地下水の影響を受けて、再び固結強度を失ってもとの状態にもどることが心配されたが、前述の配合仕様であれば、局所的に固結度の低い箇所も見受けられるが、全般的には十分使用に供せる地盤となっている。

5. 実施運転と掘削計画

掘削運搬を進めるに当り、Fig.4に示したように特殊掘削船、フローティングコンベア、陸上コンベア、先端コンベアを配置し、フローティングコンベアは四方にワイヤロープを張り、陸上のアンカーに固定する。この状態で特殊掘削船はフローティングコンベアに沿って掘削作業を行う。掘

削コンベア、先端コンベアを経て、土運搬船に積込まれる。あるいは前述の混練り装置を経て陸上処分される。

フローティングコンベアの移動は四方に張ったワイヤロープをウインチにて操作することにより行う。中継コンベアは工事の進捗状況に合わせて適宜据付ける。

掘削計画をFig.12に示す。昭和56年の1月から8月は対象地区の東部を、同9月から昭和57年2月は南西部を、同3月から6月は北西部を掘削して全域の掘削を完了する。

廃棄物の埋立ては、ポータブルコンベアを陸上部に数連、人工池部は簡易フローター上に数連設置し、運搬投棄することにより行う。掘削範囲の埋立ては昭和56年から始め、昭和62年頃まで行う予定である。埋立て計画をFig.13に示す。

6. 処分地周辺土地の強度

掘削対象面積が広く掘削深さが大であることから、掘削土はもちろん掘削深さよりも深い層および掘削周辺の地盤が軟弱であることから、また廃棄物の埋立てを掘削と同時に行うことから、地盤の側方移動、すべり等の恐れが考えられる。そこ削された土砂はフローティングコンベア、陸上コ

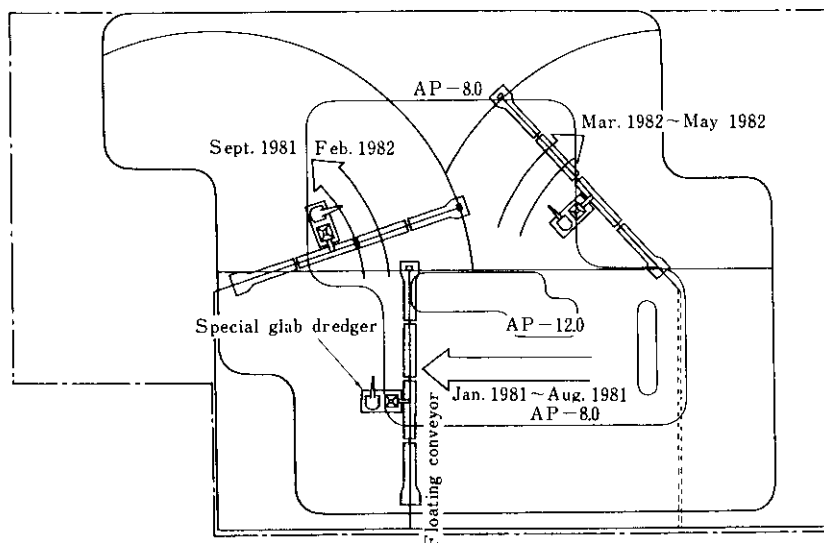


Fig. 12 Dredging schedule

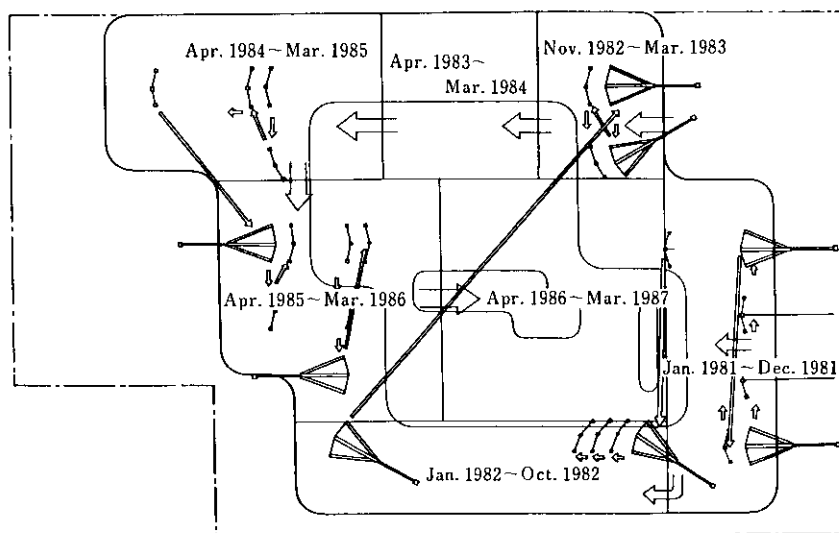


Fig. 13 Reclamation schedule

で土質試験値をもとに地盤の安定チェックの代表的な手法である円弧すべり計算を行った。計算結果を Fig. 14 に示す。東側断面のすべりの安全率が比較的大きいのは埋立て間もない時期に高炉スラグにて仮設道路を設置した際、結果的に軟弱土と置き換えり堅固な土中スラグ堤ができ上がっているためである。埋立てが行われる北側断面では、

すべりの安全率が 1.0 を上まわるのは法肩から北側に 15m 離れた位置である。FEM にて検討した地盤の変位量を Fig. 15 に示した。地盤の安定状態が悪いことがわかる。このため法肩から 30m の位置に柵を設け車輛走行の安全をはかっている。なお、地震時には、すべりの危険がさらに増大することが考えられ、振動 3 軸試験の資料をもとに

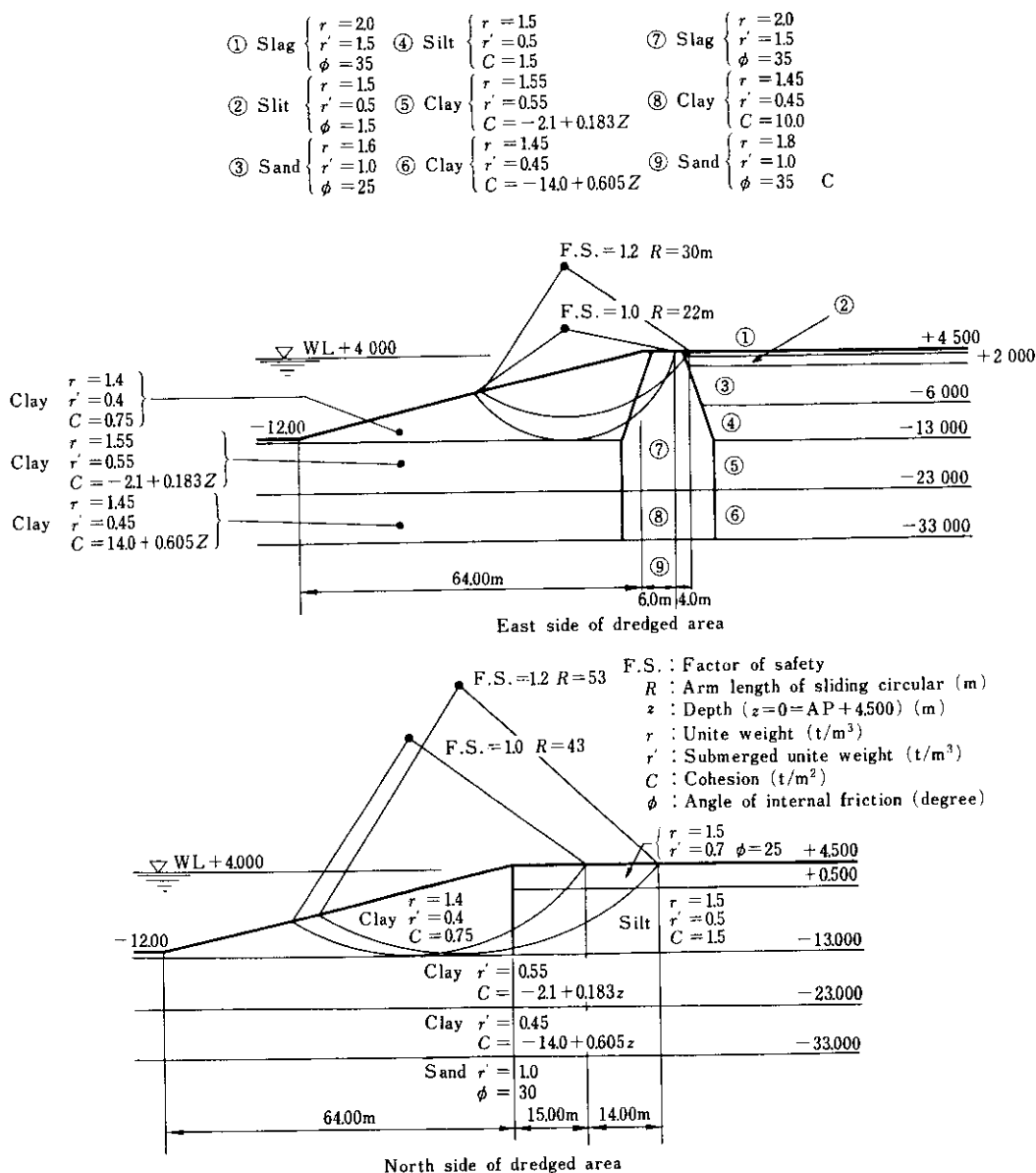


Fig. 14 Representative result of calation for sliding

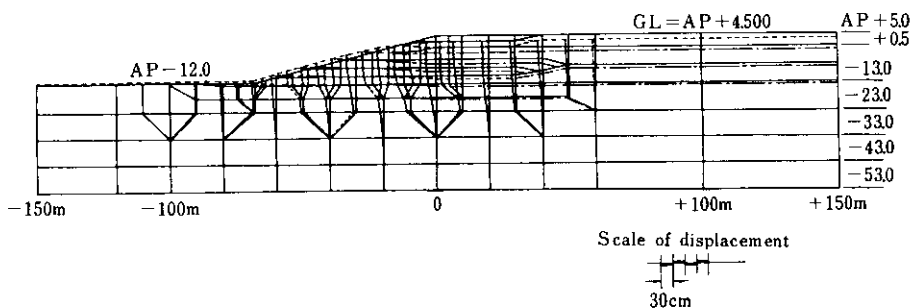


Fig. 15 Displacement of soil calculated with finite element method

した検討を行った。Fig. 16, Fig. 17 に検討結果を示す。震度係数 (k_H) を 0.1 のとき安全率が 1.0 を上まわるのは法肩から 60m 離れた位置であった。

7. おわりに

工場から発生する種々廃棄物の処分場の確保は長期、短期をとわず、製鉄所として重要な課題である。本報告で述べた処分場は、千葉製鉄所から

発生する廃棄物の 5 から 7 年分を対象としている。当処分場の確保にあたって実施した処理工法は、昭和 56 年 2 月現在、予定どおりの処理能力を発揮し、相当量の実績を上げており、さらに一層の能力アップの可能性を模索中である。この方法は、今後場内場外を問わず軟弱土の堆積している地区の対策方法の一つとして役に立つであろう。

なお、実施にあたり協力いただいた東亜建設㈱の工事関係者諸氏に感謝の意を表します。

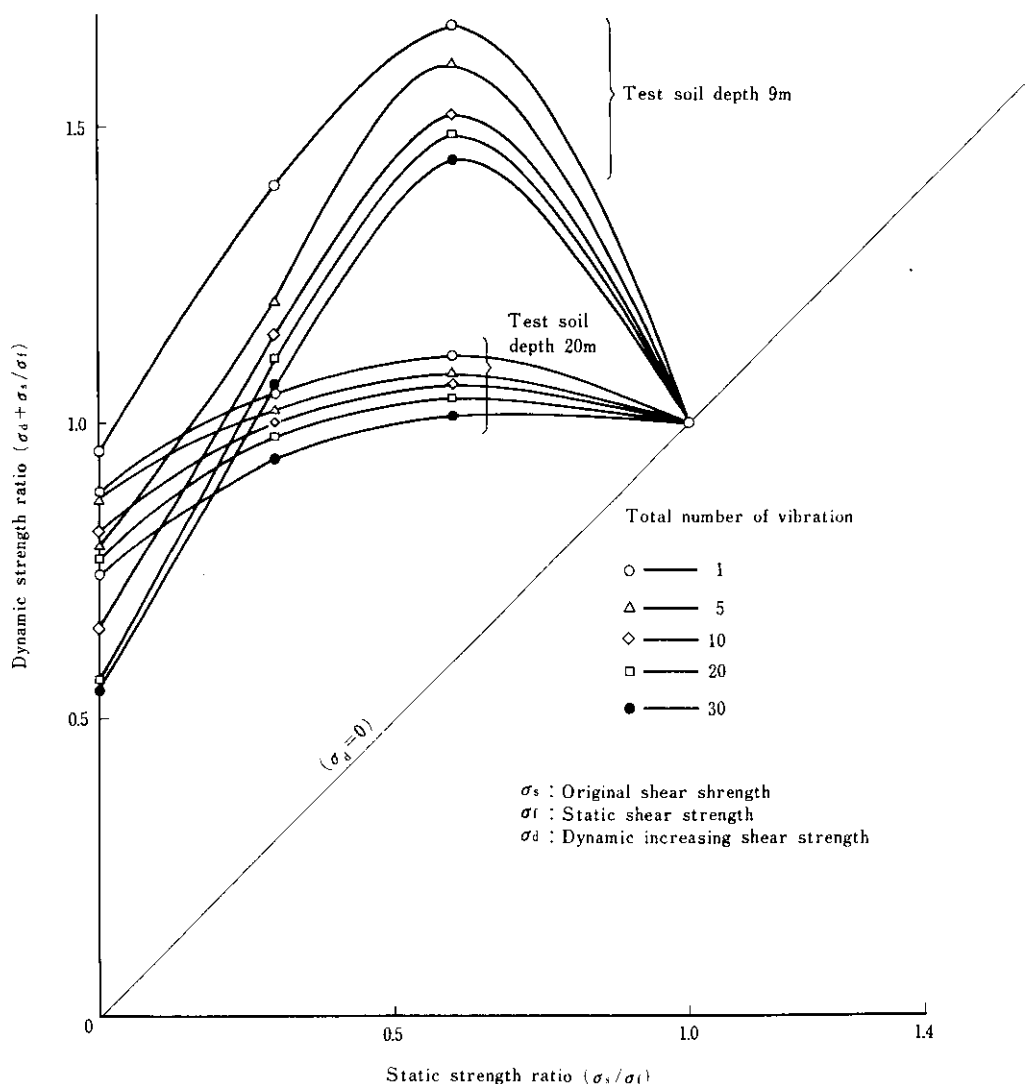


Fig. 16 Representative result of triaxial dynamic compression test

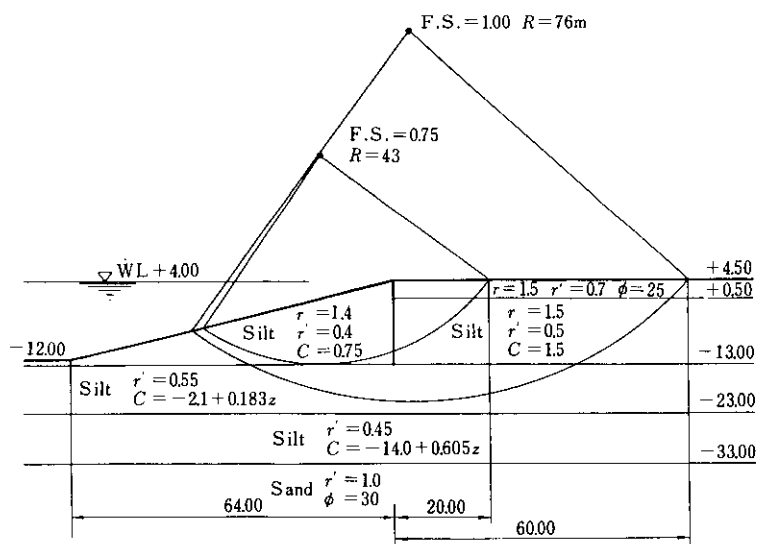


Fig. 17 Representative result of calculation for sliding by an earthquake ($k_H=0.1$)

参考文献

- 1) 堤一高, 根井基雄, 城郁夫: 川崎製鉄技報, 10 (1978) 2・3, 5