

10万kl原油タンク基礎の施工

齊藤 正忠* 林 利明**

平野 孝行***

要 約

本タンク基礎工事は、第1期工事（10万kl 2基）、第2期工事（12万kl 2基）共に次のような手順で施工が行われた。

- ① 本護岸及び仮護岸の築造
- ② タンク基礎部分を除く埋立
- ③ タンク基礎部分の排水
- ④ タンク基礎下面までの盛土
- ⑤ タンク基礎の築造

本報文は、これらの工事のうち④、⑤の盛土締固めに関するものである。

現在、タンク基礎は、消防法によってきびしい施工管理が要求されている。そのため本工事に先立って3種類の盛土材料（山砂、海砂、碎石）を用いた締固め試験工事が行われ、本工事に対する適切な転圧仕様が決定された。その結果、本工事においては、所要の規制値を十分満足する結果が得られた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 地質概要
- § 4. 形状寸法及び施工管理基準
- § 5. 試験工事
- § 6. 本工事
- § 7. 施工管理試験
- § 8. 水張試験
- § 9. あとがき

§ 1. はじめに

国のエネルギー政策の一環として始められた「90日石油備蓄増強計画」に基づき、日本鉱業(株)船川製油所内に石油タンク基地の建設が計画された。

石油は消防法上の危険物として、その貯蔵取扱いには一定の規制が加えられており、特に、昭和49年12月の三菱石油(株)水島製油所における重油流出事故を契機として、

昭和52年2月には消防法が改正され、規制強化が行われた。

一般に、タンク建設地は、軟弱な埋立地であることが多く、消防法の規制を満足するタンク基礎の施工には、地盤改良等に多大の工費を必要とすることが多い。しかし、当建設現場は水深1.0～5.0mと浅く、海底面の傾斜も緩い。その上、海底の地質はN値50以上の泥岩と凝灰質砂岩の互層という良好な条件に恵まれている。

このような好条件下に本工事は計画されたが、盛土材の粒度分布が悪く、その転圧には多くの困難が伴った。

しかし、本工事に先立って試験工事を行うことにより、十分安全なタンク基礎を築造することができた。

§ 2. 工事概要

2-1 全体計画

本工事の全体計画は次に示すとおりである。

護岸延長	2033m
埋立面積	45ha
原油タンク	10万kl 2基
〃	12万kl 2基

2-2 主要工事数量

本工事の主要な工事数量を表-1に示す。

*土木設計部設計課長

**東北(支)秋田(出)工事係長

***土木設計部設計課

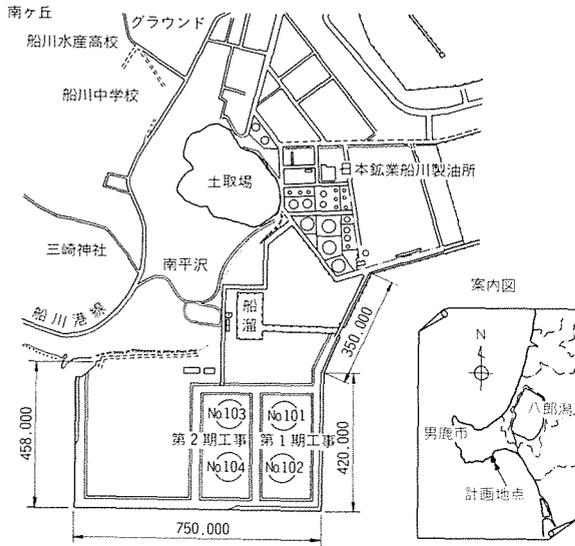


図-1 平面図

表-1 主要工事数量

護岸工	延長	2,033m
	石、被覆石、消波ブロック、胸壁コンクリート	167,000m ² 20,065個 10,460m ²
埋立工	切土、運搬	1,210,000m ³
	山砂	156,000m ³
防油堤	延長	3,040m
	舗装	35,300m ²
	植生工、コンクリート側溝	50,000m ² 3,500m
タンク基礎	基盤	礎 D=82m
	海砂	砂 4基
	山砂	砂 77,520m ³
	砕石	C-40 70,126m ³
	路盤舗装	石 t=15cm 11,140m ² 盤装 t=5cm 23,980m ² 工 23,300m ²

§ 3. 地質概要

当タンク建設予定位置で実施した土質調査の位置及び結果を図-2、3に示す。

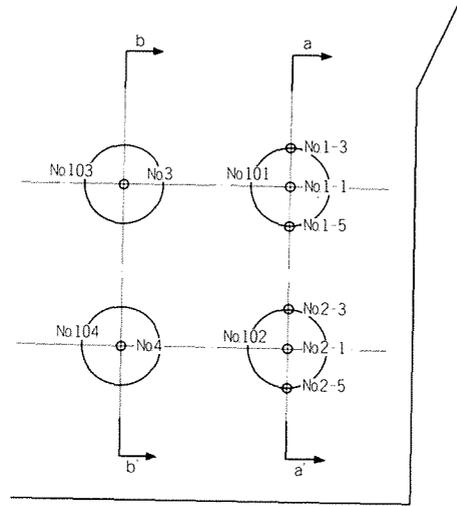


図-2 土質調査位置図

調査結果によると、当埋立地の地盤は新第三紀中新世船川層群船川層で、泥岩と凝灰質砂岩の互層が厚く分布している。海底盤から-3.0mはN値45~50であり、これより深部はN値が50以上を示す堅固な地盤である。

§ 4. 形状寸法及び基礎の施工管理基準

4-1 形状寸法

図-4にNo.101, 102タンク基礎形状を示す。No.103, 104タンク基礎の形状寸法は基本的に図-4と同じであるが、海砂の盛土天端高と基礎の天端高については、それぞれ

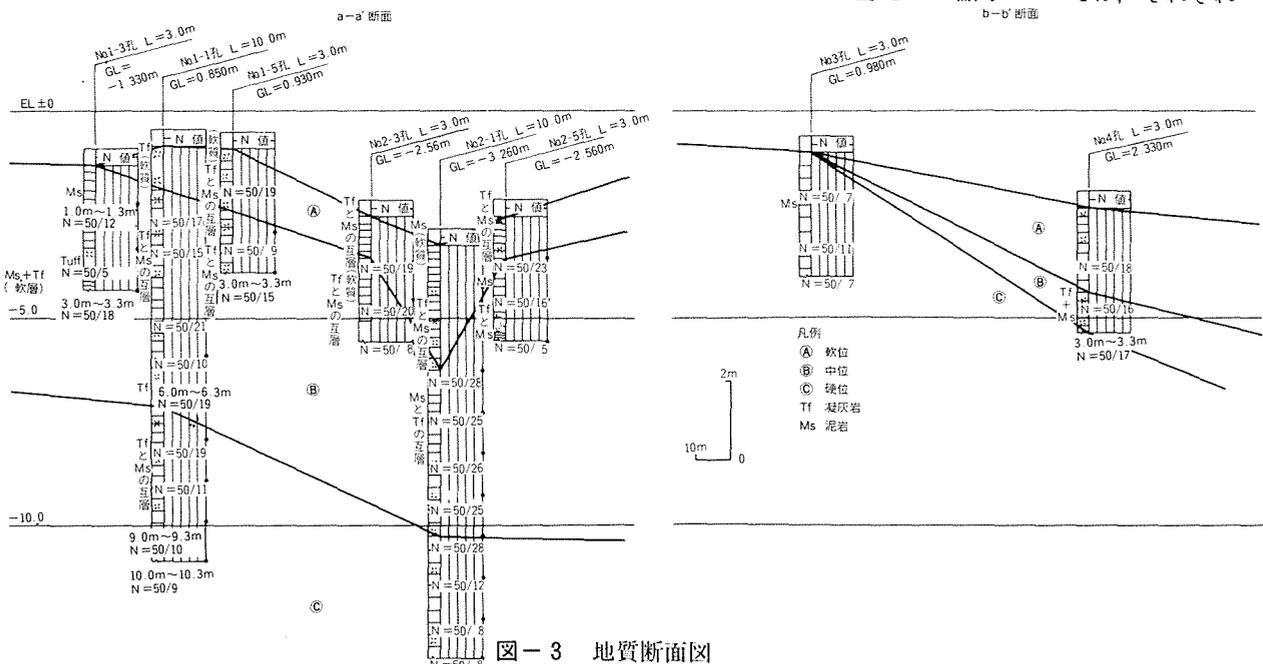


図-3 地質断面図

D. L. +0.50m, +2.50mと異なっている。

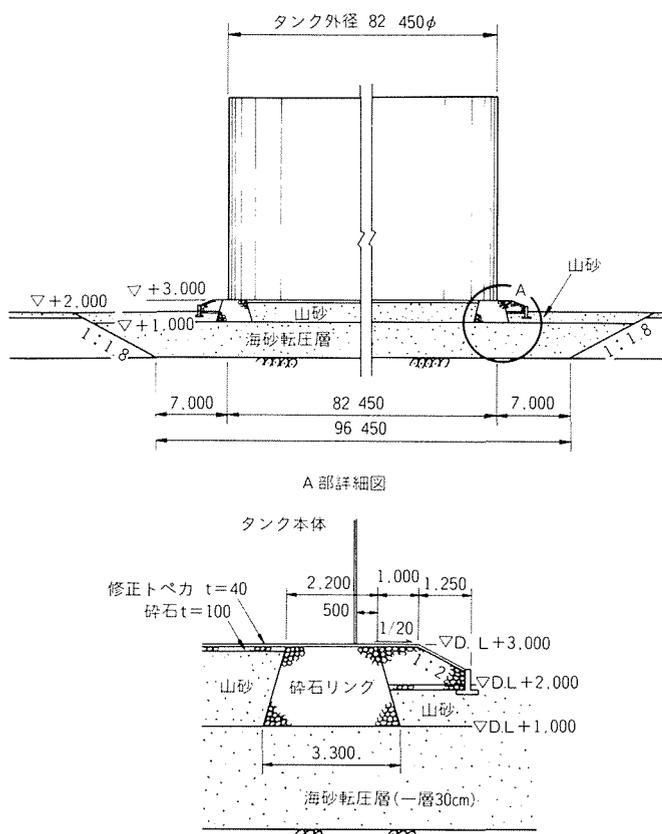


図-4 タンク基礎形状寸法

4-2 施工管理基準

(1) 支持力に関する管理

i) N値による締固め度の管理基準

平均的にN=15以上が必要である。

ii) K値による締固め度の管理基準

基礎と地盤のうち基礎表面から3mの部分については、K値(30cm版で5mm沈下時のもの)が10kgf/cm²以上、砕石リングについては、同じく20kgf/cm²以上が必要である。

(2) 表面仕上りに関する管理

基礎表面の仕上り精度の測定箇所は、半径10mごとの同心円上を10m以下の等間隔にて測定する。

その管理基準は次のようである。

- ① 同一円周上の測定値の高低差が最大25mm以下。
- ② 隣接した各点の高低差が10mm以下。

4-3 水張試験

ここでは、不等沈下量に対する基準を与える。不等沈下の制限値は次式によって与えられる。

$$\sigma = \frac{D}{300} = \frac{82000}{300} = 274\text{mm}$$

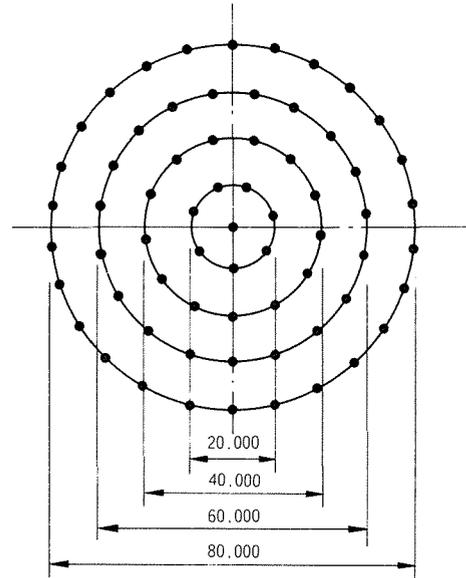


図-5 仕上り精度測定位置図

§ 5. 試験工事

5-1 目的

試験盛土は次の目的で行われた。

- ① 消防法に規定されている地盤条件(N≥15)を得るために盛土材料、まき出し厚及び締固め方法を決定する。
- ② 消防法に規定されている基礎及び地盤条件(K≥10kgf/cm²)を得るために盛土材料、まき出し厚及び締固め方法を決定する。

5-2 ヤード形状及び試験位置

試験工事におけるヤード形状及び試験位置を図-6に示す。

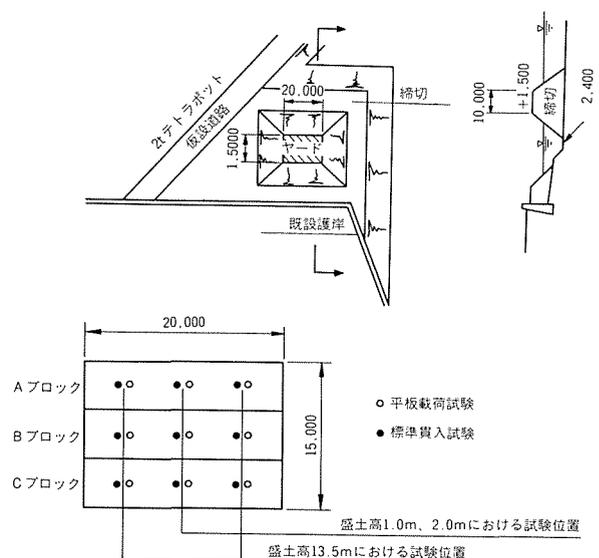


図-6 ヤード形状及び試験位置図

5-3 盛土施工条件

盛土施工条件を表-2に示す。

表-2 盛土施工条件

ブロック	盛土材料	まき出し厚	転圧機種	転圧回数
A	海砂	30cm	振動ローラ 8.8tf	8回
B	海砂 砕石	30cm 10cm		
C	山砂	30cm		

5-4 土質条件

試験に用いた盛土材料の粒径加積曲線と縮固め曲線を図-7, 8に示す。

(1) 粒径加積曲線

この粒径加積曲線から次のようなことが云える。

- ① 粗粒土においては、密度、透水性、せん断強さなどの諸性質が大いに粒度に関係する。
- ② 細粒土においては、粒度分布と土の諸性質との間に一定した関係がない。

日本統一土質分類法では、粒度分布の良否の判定を次のように判別することになっている。

$U_c \geq 10, 1 < U_c' \leq \sqrt{U_c}$: 粒度が良い

$U_c < 10$: 均等粒度, 粒度が悪い

$U_c \geq 10, U_c' \leq 1$ 又は $U_c' > \sqrt{U_c}$

: 階段粒度, 粒度が悪い

ここに U_c : 均等係数

U_c' : 曲率係数

本試験に用いる盛土材料は、粒調砕石を除き、山砂、海砂とも均等粒度であり、粒度の悪いことが分かる。

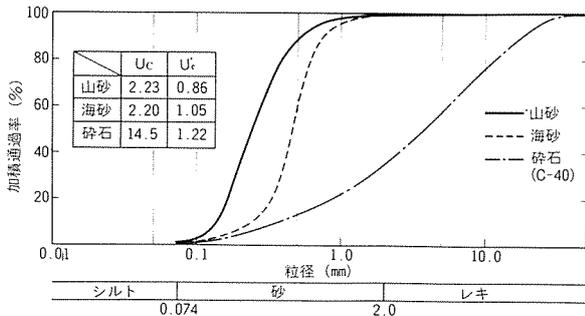


図-7 試験工事に用いた盛土材の粒径加積曲線

(2) 縮固め曲線

土の縮固め試験結果の一般的傾向として次のよう

なことが言える。

- ① 普通、最大乾燥密度が高い土ほど最適含水比が低い。逆に最大乾燥密度の低い土ほど、最適含水比が高い。
- ② 一般に、粒度の良い砂質土ほど、最大乾燥密度が高く縮固め曲線が鋭い。そして細粒土ほど最大乾燥密度が低く、縮固め曲線はなだらかである。
- ③ 砂であっても粒度が悪い(均等粒度)ような場合は必ずしも最大乾燥密度が認められるとは限らず、縮固め曲線が平滑である。

本試験工事に用いた土についても、この①~③に示した一般的傾向を確認することができた。

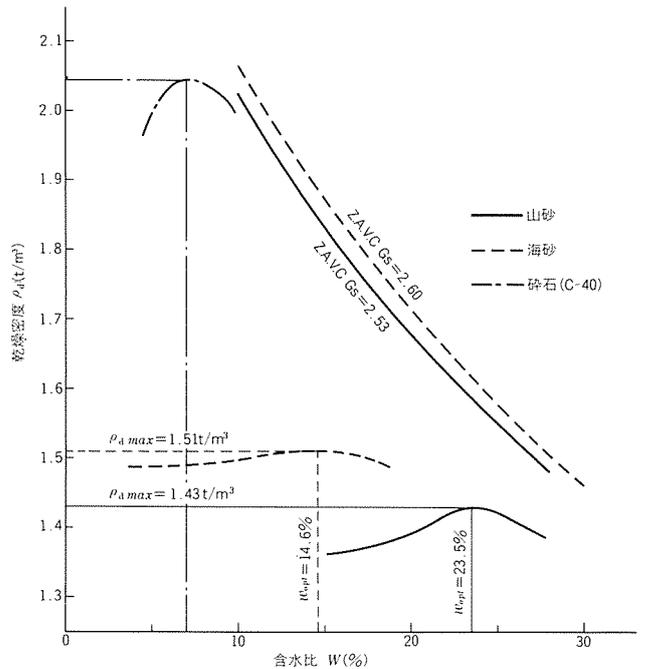


図-8 試験工事に用いた盛土材の縮固め曲線

5-5 準備工

(1) 縮切り

試験盛土周囲の縮切り法面勾配は次のとおりである。

水面上 1 : 1.5

水面下 1 : 3.4

(2) 水替工

水替は6インチ水中ポンプ4台にて排水したところ約2400m³を5時間で完了した。水替完了後、湧水は認められなかったが、浸透水排水のため6インチポンプ1台を常時使用した。その水量は余り多くな

く、ドライ施工は十分可能と判断した。

5-6 試験結果

試験は、標準貫入試験及び平板载荷試験を行った。

標準貫入試験は、無水掘りのボーリング孔で行ない、試験ピッチは45cm（前打ち15cm，本打ち30cm）とした。

平板载荷試験は盛土高D.L. -1.75m，-1.0m，0.0m，1.5mの転圧面で行った。海砂と碎石の互層の試験盛土については、海砂，碎石の順にまき出して、2層同時に転圧し、碎石面にて試験を行っている。

試験結果を以下にまとめる。

(1) 盛土高さによるN値の変化

図-9は施工に伴い盛土高さがD.L. -1.0m，0.0m，1.5mと上っていく時の、それぞれの高さでのN値の変化を示すものである。

これによれば、次のことが云える。

- ① 盛土材料にかかわらず、測定深度が深くなるにつれてN値は増加する傾向にある。
- ② 盛土材料にかかわらず、盛土高さが高くなるにつれて同一標高のN値は増加している。
- ③ 粒度が悪く、締固め曲線が平滑で最大乾燥密度の低い、山砂，海砂は、海砂と碎石の互層状態で転圧した場合よりN値が低くでている。
- ④ 盛土表面より1.0mまでは、N値10程度以下である。

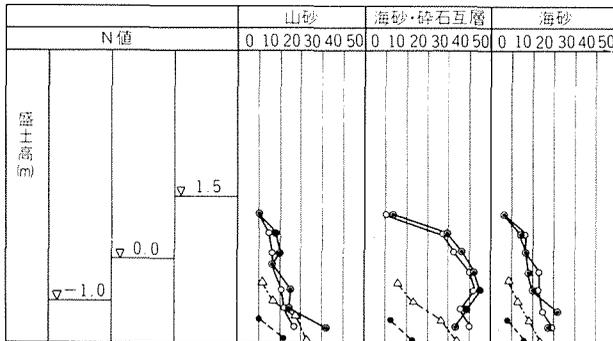


図-9 各盛土段階における標準貫入試験結果

(2) 地下水によるN値の変化

図-10は試験盛土の施工中行っていた排水を止めた場合、地下水の上昇によってN値がどのように変化するかを調べた結果である。

これによると、いずれの場合も、地下水の上昇によってN値が低下しておりその低下の傾向は、山砂，海砂，海砂・碎石の互層の順に大きくなっている。

(3) 平板载荷試験

図-11の試験結果より、部分的に問題があるもの

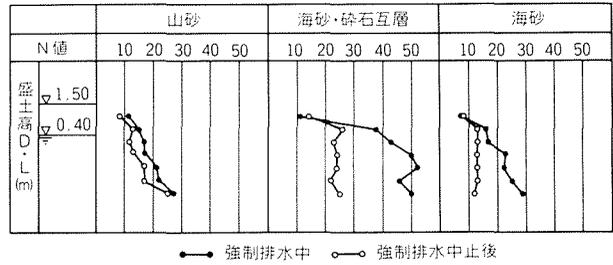


図-10 地下水の上昇による標準貫入試験値の変化

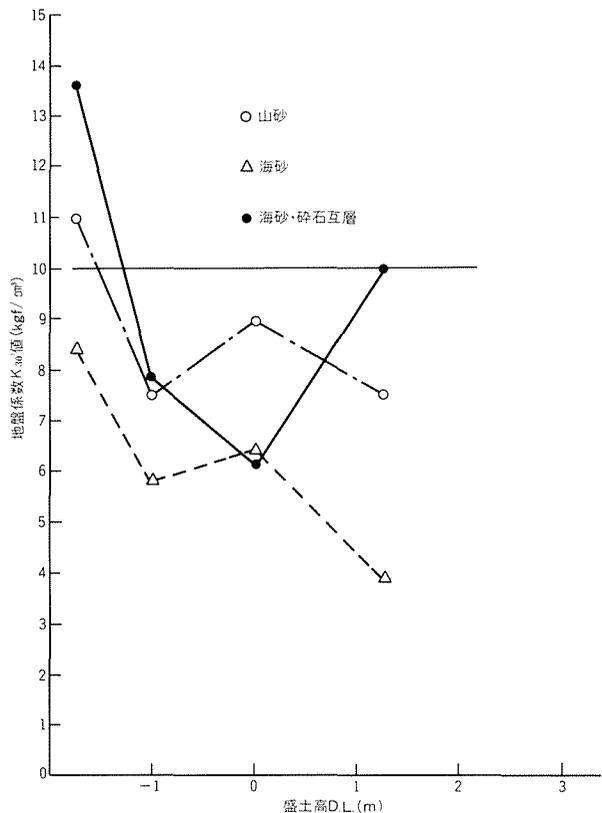


図-11 各盛土段階における平板载荷試験結果

の、全体としては海砂・山砂の互層，山砂，海砂の順にK30値が低下しているということが云える。

5-7 考察

(1) N値

いずれも盛土表面下1.0mについては、N値による締固め度の管理基準を満足しない。

しかし、上載荷重の増加（盛土高の増加）につれて、N値は増加する傾向にあるので、表面下1.0m以深については、タンク基準を満足するものと考えられる。ただし、実際には盛土完了後の水位上昇により盛土が飽和状態になるので、図-10に示すようなN値の低下が生ずるものと思われる。

このことは、地下水上昇に伴い有効上載圧が減少しN値が低下することを意味しており、前出の上載荷重の増加によるN値の増加現象を裏付けることとなっている。

また、粒度分布の悪い海砂や山砂はN値が小さく出ているのに対し、海砂と粒調碎石の互層の場合はN値が大きく出ている。

(2) K_{30} 値

$K_{30} \geq 10 \text{kgf/cm}^2$ というタンク基準を満足する結果が得られたのは、わずかに海砂と碎石の互層で盛土高が3.5 mとなった場合のみであった。

なお、盛土高0.25 mの場合は、下部の $N \geq 50$ の基盤層の影響で K_{30} 値が大きく出ている。

(3) 転圧仕様

(1), (2)で述べたように、今回の試験工事で行った転圧仕様によっては、N値、 K_{30} 値の双方の基準を満足することはできなかった。

5-8 まとめ

5-7に述べたように本試験工事においては、N値、 K_{30} 値の双方の基準を満足することはできなかった。

しかし、図-12, 13に示すように、一般には、盛土の

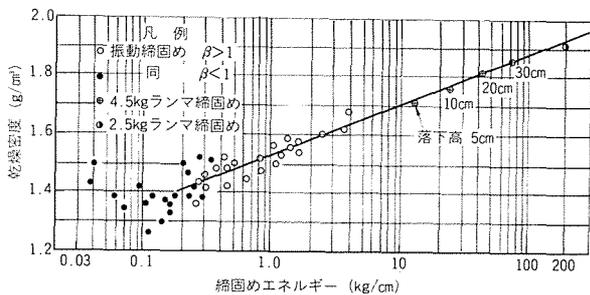


図-12 締固めエネルギーが締固め度に及ぼす影響

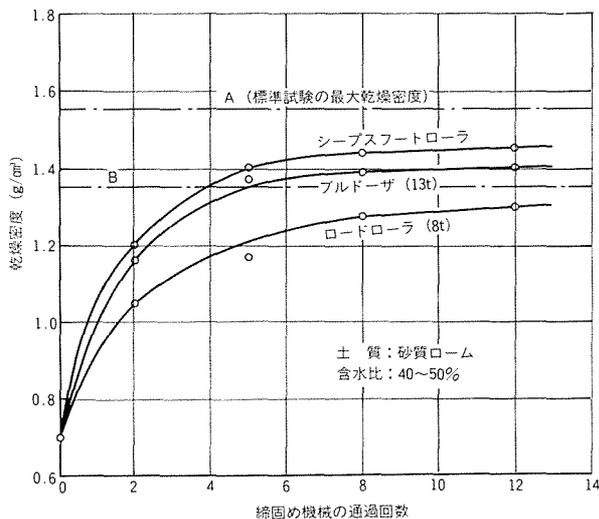


図-13 2, 3の締固め機械と標準試験法による締固め度の比較

締固め度は転圧機種や転圧回数を変えて締固めエネルギーを増すことにより増加する。

従って、本工事においては経済性を重視して、海砂及び山砂を盛土材に用いることにしたが、転圧については、振動ローラ（転圧回数8回）の他にタイヤローラ（転圧回数10回）を追加することにより基準を満足させることができるものと判断した。

§ 6. 本工事

6-1 フローチャート

本工事におけるフローチャートを図-14に示す。

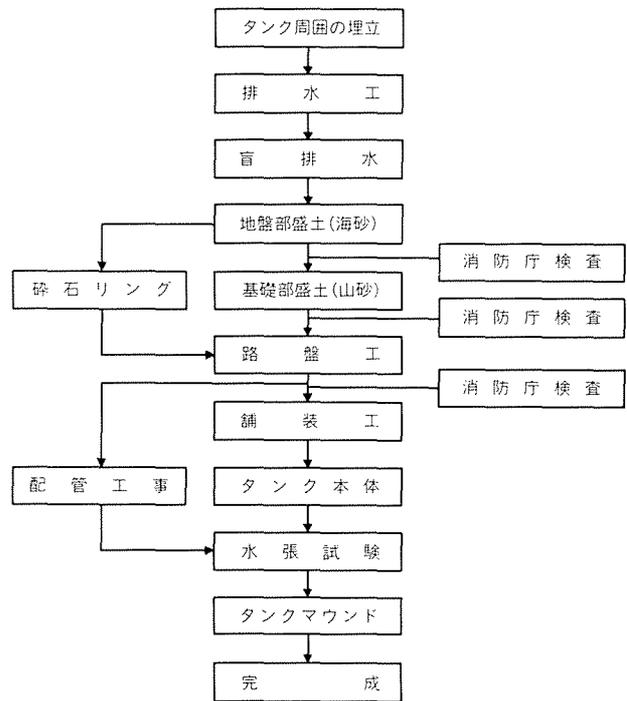


図-14 本工事のフローチャート

6-2 盛土工

(1) 使用材料

盛土材としては、試験工事に用いたものと同じ材料を使用する。なお山砂については、土量等の関係から、試験工事に用いた材料以外の材料を使用することになった。

本工事に使用した山砂の土質試験結果を図-15, 16に示す。

(2) まき出し、締固め

まき出し厚は30cmとし、ブルドーザにて行う（写真-1）。

また、締固め回数は、試験工事の結果を考慮して、タイヤローラ（14tf~20tf）10回、振動ローラ（8tf or 10tf）8回を基準とした（写真-2）。

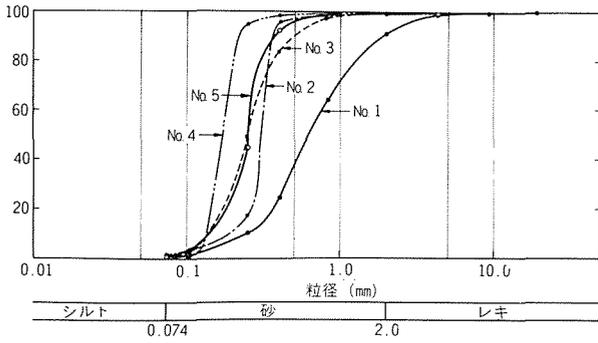


図-15 山砂の粒径加積曲線

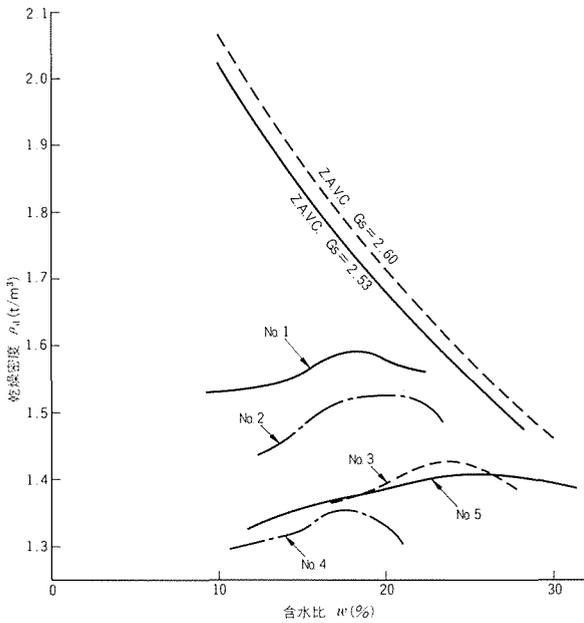


図-16 山砂の締固め曲線

締固め結果の良否は含水比に左右されるため、最適含水比付近(ρ_{dmax} の90%以上)にて締固めるよう含水比の管理を行った。

特に盛土部のN値は盛土層が45cm以上にならないと測定不可能であり、もし基準値に達しなかった場合には、手直しに余分の時間、工費を要することになるので十分注意した。



写真-1 盛土材のまき出し



写真-2 盛土材の転圧

6-3 碎石リング

(1) 使用材料

使用材料は図-17に示す範囲内の粒調碎石とする。

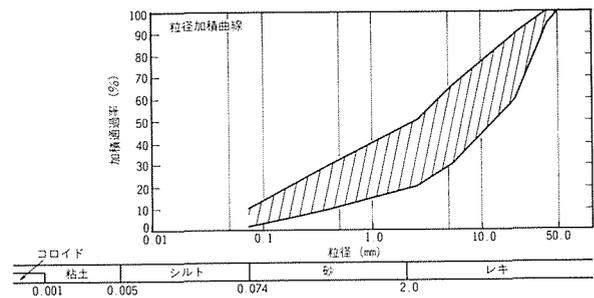


図-17 碎石の粒径加積曲線

(2) まき出し、締固め

1層の厚さは30cmとし、平坦に敷均し、基礎部の山砂と同時にまき出し、締固めを行う(写真-3、4)。

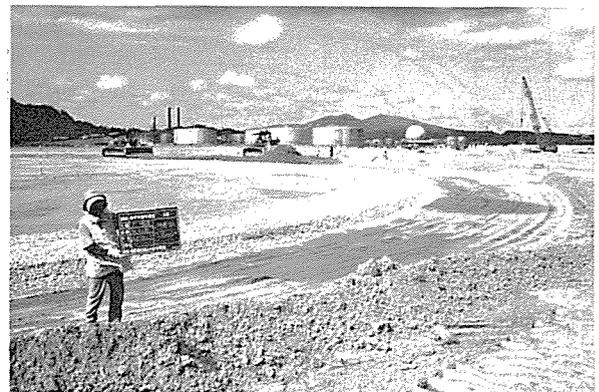


写真-3 碎石リングのまき出し



写真-4 碎石リングの転圧

締固めは、タイヤローラ（14tf～20tf）にて10回、振動ローラ（8tf）にて8回を基準とし、使用台数はおおの2台ずつとした。

§ 7. 施工管理試験

7-1 盛土部

(1) 試験方法

標準貫入試験は、まき出し一層毎に試験はできな

いで、盛土高が表-3に示す高さになったところで試験を行う。また、試験位置を同表に示す。

表-3 標準貫入試験位置

タンク	試験位置	試験時盛土高 (D.L. m)
No. 101		+0.50
		+1.50
		+2.85
No. 102		+0.00
		+1.50
		+2.85
No. 103		+1.10 (---)
+2.00		
No. 104		-0.90 (----)
		+0.50 (----)
		+2.00

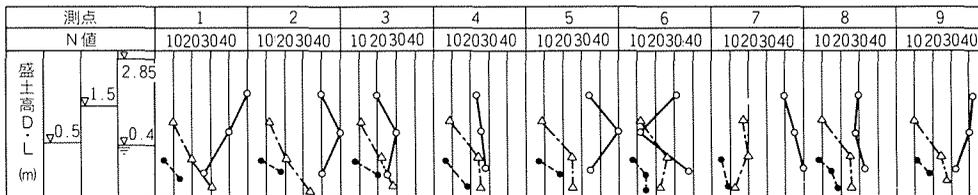
(2) 試験結果

各タンクにおける試験結果を図-18に示す。

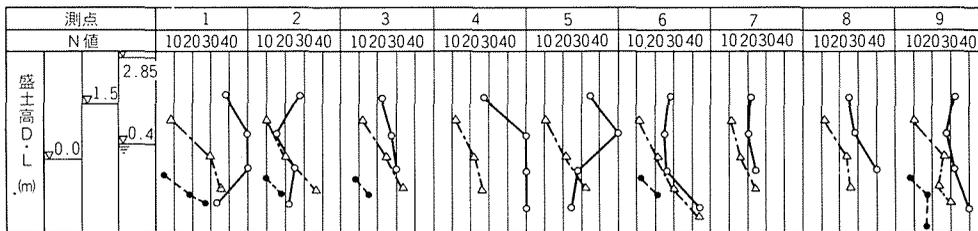
試験結果は、おおむね、試験工事の時と同じ傾向を示しており、次のことが云える。

- ① 測定深度が深くなるにつれて、N値の増加する

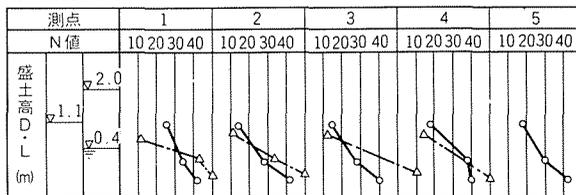
a) No101タンク基礎



b) No102タンク基礎



c) No103タンク基礎



d) No104タンク基礎

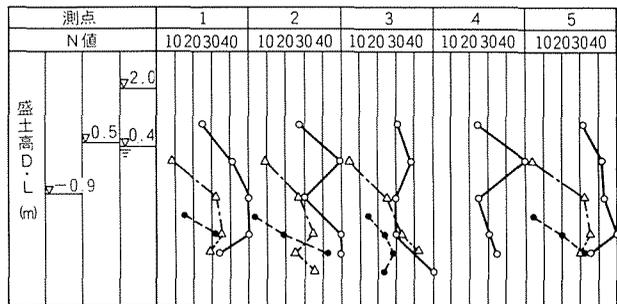


図-18 標準貫入試験による施工管理試験結果

傾向がみられる。

- ② 上載荷重の増加につれてN値が増加している。
- ③ ただし、強制排水を中止することにより、地下水が浸入している部分はN値が低下する傾向を示している。(図中 ○—○ について、地下水位D.L. +0.4 m以深)

ただし、試験工事の場合と違って、N値は平均的に15以上を示しており、タンク基準を満足する結果が、得られた。このことは、③の地下水上昇後の試験結果についても云える。

7-2 基礎部

(1) 試験位置

測定はまき出し層ごとに行う。試験位置は、図-19に示すとおりである。

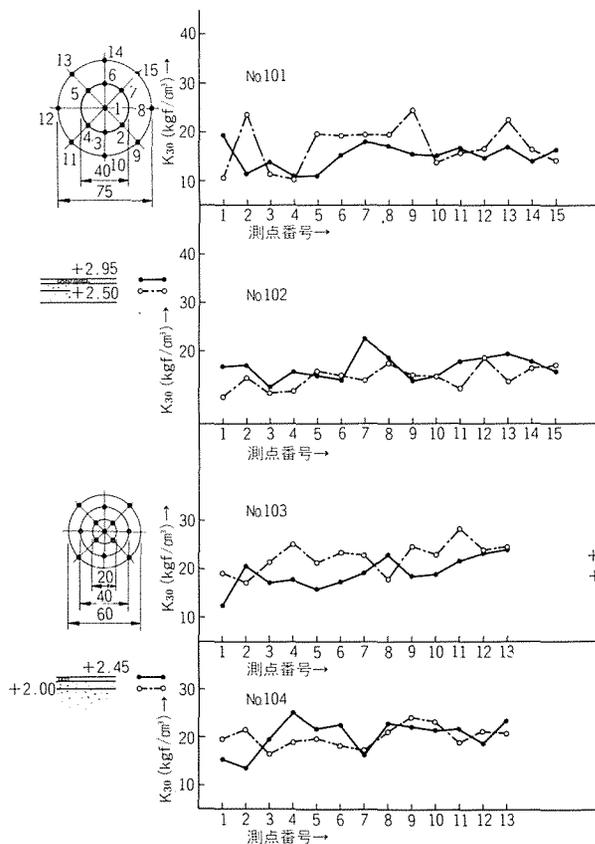
(2) 試験結果

試験結果は基礎部天端から50cmまでを(図-19-a)で示し、それ以深については、(図-19-b)に示す。

この結果、試験工事の段階では得ることのできなかった $K_{30} \geq 10 \text{ kgf/cm}^2$ の基準値を完全に満足している。

これは、試験工事によって得られた結果を参考にして転圧仕様を振動ローラのみによる8回転圧から、

a) 盛土仕上り盤より50cm以浅



タイヤローラ10回+振動ローラ8回に変更したためと思われる。

7-3 砕石リング

(1) 試験位置

1層当りの測定数は、図-20に示すとおりである。

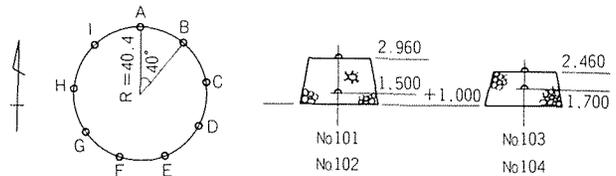


図-20 砕石リングの施工管理試験位置図

(2) 試験結果

試験結果を図-21に示す。

これによると、結果は基準値($K_{30} \geq 20 \text{ kgf/cm}^2$)を満足している。

§ 8. 水張試験

水張りによるタンクシェル部の沈下量をタンク外周にそって52ヶ所測定した。結果は図-22に示す。

各タンクの不等沈下量を算定し表-4に示す。

この結果、各タンクとも不等沈下に対しても制限値を満足した。

b) 盛土仕上り盤より50cm以深

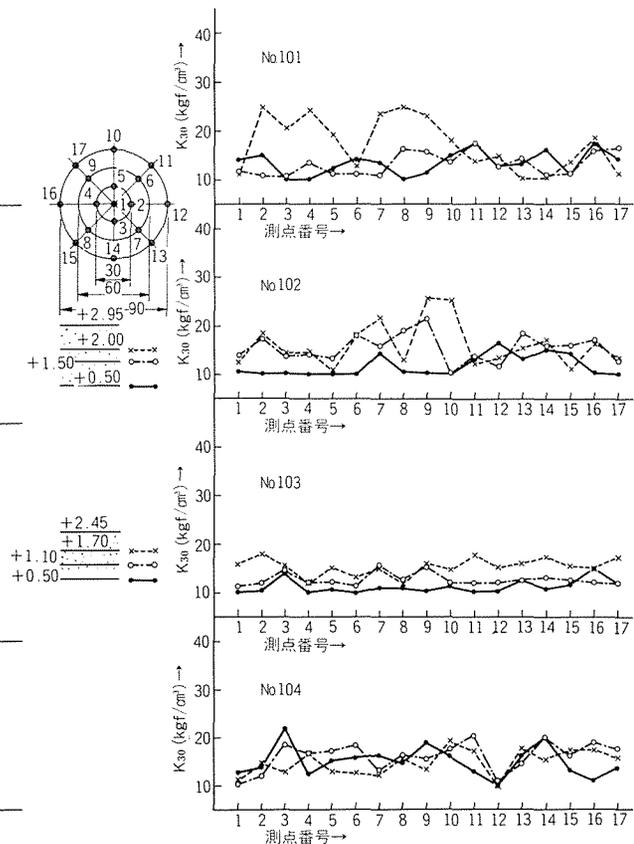


図-19 平板載荷試験による施工管理試験結果

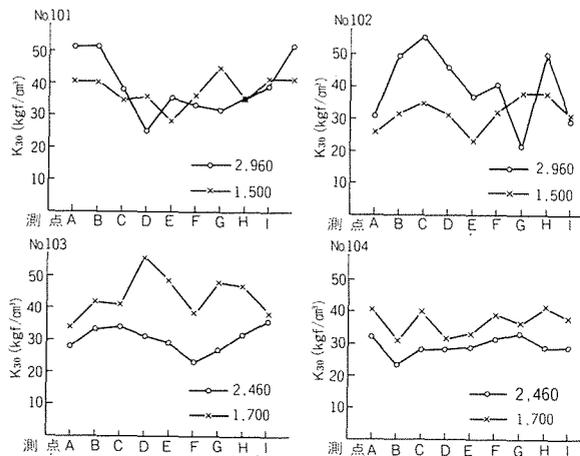


図-21 砕石リングの施工管理試験結果

表-4 水張試験時の沈下量 (単位: mm)

	最大沈下量 δ_a	最小沈下量 δ_b	不等沈下量 δ ※	不等沈下量 制限値
No. 101	24	12	18	274
No. 102	29	15	22	

※ $\delta = (\delta_a - \delta_b) + \alpha \cdot \delta_b$
ここに $\alpha = 0.5$ とする。

§ 9. あとがき

本タンク基礎工事は、海底盤から直接砂質土で盛土を行いながら、タンク基礎の築造を行った。

本工事にあたっては、どのような盛土材を用い、どのような転圧を行えば、消防法の規制値を満足するか問題になった。しかし、この問題を解決するための目安を与える参考文献は、ほとんどなかった。

このため、試験工事によって、本工事における転圧仕様を決めることになったが、本報文が今後類似の工事に対して、少しでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 消防庁危険物規制課編「石油タンク保安例規集」1979
- 2) 危険物保安技術協会編「石油タンク設計施工要領(基礎・地盤編)」1978
- 3) 土質工学会編「土質試験法」1979 P. 277~P. 303
- 4) 河上房義, 柳沢栄司「土の締め固め」1975 P. 32~P. 37, P. 71~P. 76 鹿島出版会
- 5) 土質工学会編「盛土の調査・設計から施工まで」1979

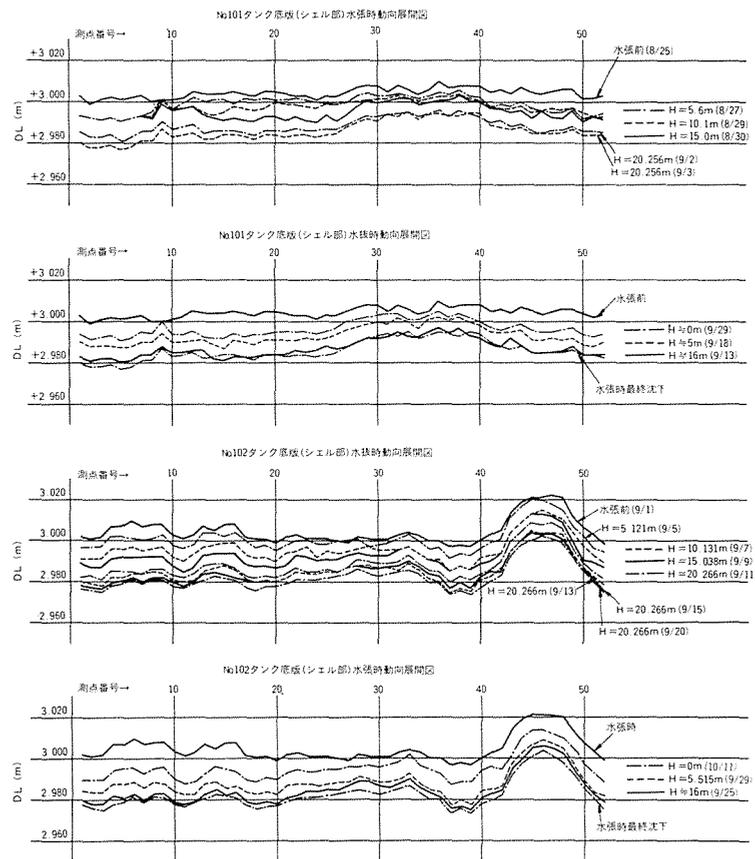


図-22 水張試験による沈下量測定結果