
海底パイプラインの落錘実験

A Drop Anchor Test for Submarine Pipe Line

河本 清(Kiyoshi Kawamoto)

要旨：

本実験の目的は航行船舶の投錨荷重にたいする海底パイプラインの安全性を確保するのに必要な土被り厚，および，パイプの材質を決定するための設計資料を得ることである。実験は海底実験との相似性を保持するために，投錨荷重の評価，およびパイプの敷設条件の設定を行ない陸上で実施した。実験の結果から，(1)埋戻し地盤はアンカーの衝撃力の吸収性が非常に高く，落下位置のずれによる土中土圧の減少はかなり大きい。(2)鋼管の円周方向発生応力は側面土圧を無視して求めた計算値に測定値がほぼ合致する。(3)軸方向応力は支持条件により大きく左右されるが周方向にたいして 50%大きくなる，などが明らかになった。

Synopsis：

The purpose of the test is to obtain design data for determining the thickness of buried soil in the sea-bottom and the quality of pipe materials, required to secure the safety of submarine pipe line against possible damages by anchors dropped from ships. The test carried out on land in consideration of the evaluation of anchor load and the pipeline laying condition for simulating the sea-bottom condition. Main results obtained are as follows: (1) The buried soil has a considerable absorptive capacity against impulse of the anchor, and, therefore, the inconsistency of the dropping position of the anchor causes a sharp decrease of the inner earth pressure by drop weight. (2) The measured value of the circumferential stress of pipe, agrees approximately with the calculated value neglecting the effect of the lateral earth pressure. (3) The axial stress which is highly dependent upon supporting conditions, is 50% larger than the circumferential stress.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

海底パイプラインの落錘実験

A Drop Anchor Test for Submarine Pipe Line

河 本 清*

Kiyoshi Kawamoto

Synopsis :

The purpose of the test is to obtain design data for determining the thickness of buried soil in the sea-bottom and the quality of pipe materials, required to secure the safety of submarine pipe line against possible damages by anchors dropped from ships.

The test carried out on land in consideration of the evaluation of anchor load and the pipeline laying condition for simulating the sea-bottom condition.

Main results obtained are as follows :

- (1) The buried soil has a considerable absorptive capacity against impulse of the anchor, and, therefore, the inconsistency of the dropping position of the anchor causes a sharp decrease of the inner earth pressure by drop weight.
- (2) The measured value of the circumferential stress of pipe, agrees approximately with the calculated value neglecting the effect of the lateral earth pressure.
- (3) The axial stress which is highly dependent upon supporting conditions, is 50% larger than the circumferential stress.

1. ま え が き

最近、航路の錯綜から海難事故が頻発し、社会問題となっている。そこで、この打開策として、従来のタンカーによる輸送方式に代り、CTSを設置し、製油所との間をパイプラインで結ぶ、パイプラインによる液体輸送方式が真剣に検討されるようになった。また、すでに実績を積んでいる、製油所とシーバースを結ぶフローラインおよび、製油所と直接供給地を結ぶフローラインが数多く計画され具体化している。このようにパイプラインによる輸送方式が整備され推進されるようになった。このような気運の高まりとともに、パ

イプラインの安全性についても関心が高まり、各方面から厳しい要求が出されている。特に、石油パイプラインについては石油パイプライン事業法および、政省令にもとづく保安基準にこれらの要求が十分に反映されかなり厳しく規定されている。そこで、航行船舶の頻繁な航路を横断して海底パイプラインを敷設する場合は、その設計において、船舶の非常時の投錨についても十分に検討を加え、埋設パイプの安全を図らなければならない。そのためには、まず、投錨にたいし埋設パイプを十分に保護できる土被りのを実験によって決定しなければならない。この土被りを決定するためには、実際にパイプを敷設する位置で対象船舶の錨を使用して実験を行ない、実験結果をもとと

* 本社開発営業部パイプライン開発室課長

し、使用パイプの材質および、埋戻し地盤の表面の補強の有無などを検討し、条件に即応した最良の設計を行なわなければならない。この点、石油パイプライン事業法にもとづく、政省令の保安基準にも埋設パイプの土被りの決定は投錨実験によることとしている。

本稿の実験は、上記のような重要性から、当初は原位置での実物実験を計画したが、水深-25mの海底で、重量20tという錨を使用して埋設パイプの影響を調べることは、管理が非常に難かしく、また、実験結果の信憑性についても問題を残すので、海底実験との相似性を保持するよう、次のような条件設定についての配慮をして、陸上実験を行なった。

海底実験を陸上に実施する場合、その相似性を保持するためには、まず、実験条件の設定が第一である。その実験条件の中でも、錨荷重の評価と海底埋設パイプの埋設条件、すなわち、海底の地盤条件の推定が重要で、これを陸上実験にどの程度生かすことができるかによって実験結果の真価が決まる。まず、錨荷重とは船舶からの投錨条件により左右されるが、一般には、船舶に搭載したウインドラスのブレーキを弛め、アンカーを水中自然落下させたときの海底地盤への衝突荷重をいう。これを陸上で落錐にて実験をする場合には、空中落下に等価換算する必要がある。このア

ンカー荷重の評価方法として、2つの方法を採用した。一つはウインドラスのブレーキの容量設計式による方法、他の一つは実測による方法である。次に埋設パイプの埋設条件については埋戻しに使用する土砂の土質および表面の保護工の有無により異なるが、今回の実験は実際に施工する埋戻し土が砂礫であることから砂礫を使用した。さらに、実状にそうために埋戻し土の状態を緩やかにし、水に完全に浸るようにした。

以上のように実験条件の設定を行ない、落錐による地盤の性状変化および、埋設パイプの挙動を動的に観測し、結果について考察を加えた。

本稿の実験の意義は、従来行なわれた数件の実験がすべて陸上埋設パイプを対象とした比較的小規模の、しかも、実験管理の容易なのに反し、今回の実験は、海底という特殊条件に加え、荷重が不規則不定形である。このような特殊条件で実施された落錐実験は事例が少なく、特に、水深-25m、使用落錐の重量20tというスケールの実験は初めてのことと思われる。実験の結果について2, 3の未解決の問題が残ったが、ほぼ、目的どおりの成果をおさめることができた。また、残された問題点も、今後、原位置実物実験を行なうか、2, 3の補足実験を行なえば大体解決されるものと思われる。**Fig. 1**は原位置口鉾海底パイプラインのプロフィールを示す。

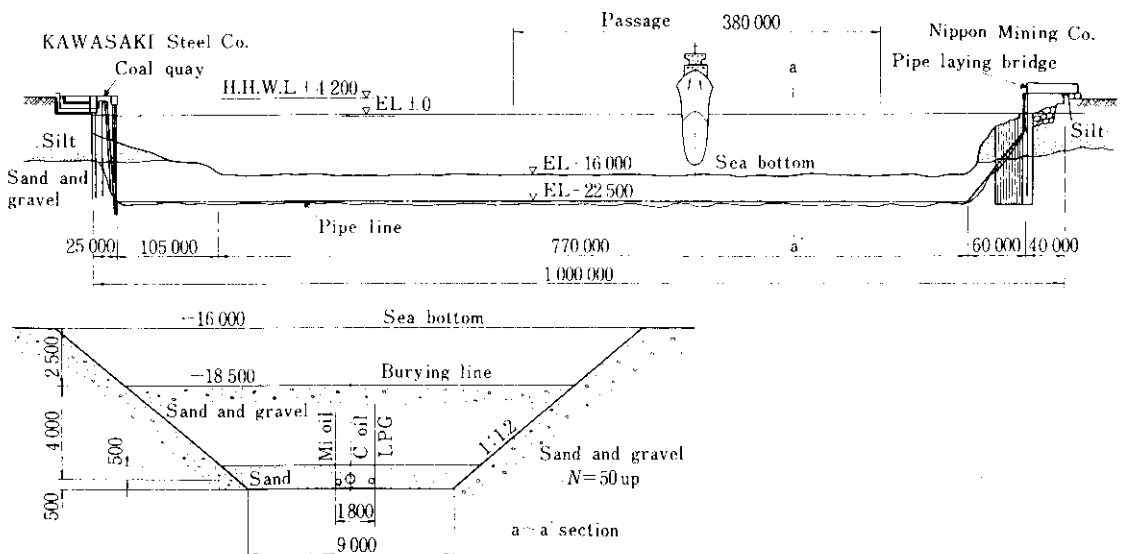


Fig. 1 Nikkō submarine pipeline profile

また、Photo. 1 は落錘実験の全景を示す。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad (\text{cm}^{-1})$$

実験位置

倉敷市水島川崎通1丁目

川崎製鉄(株)水島製鉄所地先

実験実施期日

自昭和47年1月10日至昭和47年1月31日



Photo. 1 The view of drop weight test

したがって $k=1.0 \times 16.52 \text{ kg/cm}^3$, $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $I=1592 \text{ cm}^4$ とすれば, $\beta=0.0052 \text{ cm}^{-1}$ となるので, (2)式より, 力学的無限長の条件をみたす距離は約6 m必要となる。いま荷重点を5ヶ所とし, 間隔を2 mにとるとその間の距離は8 mとなり, 供試体の長さとしては20 mが必要となる。しかし場所的制約があったので, 今回は供試体長として15 mを採用した。この場合, 荷重点から管端までの距離は3.5 mとなるが, ほぼ無限長の条件 ($L > 2/\beta$) を満足しているので問題はないものと思われる。

また, 供試体として使用した鋼管の品質および機械的性質は Table 1 のとおりである。なお, 管端部は開口とし, 管内部は常に水が充満しているようにした。

Table 1 Tensile requirements

Grade	Tensile strength (kg/cm ²)	yield strength (kg/cm ²)	Elongation (%)
STPG38	3 800	2 200	28

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体は日鉱パイプラインに使用する予定の鋼管(外径 267.4 mm, 肉厚 9.3 mm) 1本を使用した。供試体として使用する鋼管の長さは, 実際に埋設される鋼管の埋設条件を満たすよう決定すべきである。埋設条件からすると供試体は力学的無限長の条件を満たすことが必要である。

いま, 埋設パイプの撓み曲線の方程式を(1)式とすると力学的無限長を満足させる条件は(2)式で与えられる。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$L \geq \pi/\beta \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし

k : 基礎係数 (kg/cm³)

E : 鋼管の弾性係数

I : 鋼管の断面2次モーメント (cm⁴)

L : 荷重点から管端までの距離 (m)



Photo. 2 Test piece (steel pipe)
(φ267.4 × t9.3 × l15 000)

2.2 埋設条件

(1) 原地盤の土質

実験位置の地盤は, GL(ー)10 mの在来地盤に砂礫を吹上げた埋立地盤で, この

地盤を、GL(－)6.0mまで掘削し、GL(－)5.0mの位置に供試体を設置した。供試体の位置から下方3mは、 N 値5程度の砂礫層で、その基面の地盤反力係数 $K_{30}=3.7 \text{ kg/cm}^3$ 程度で、それより13mまでは N 値3程度のルーズな砂層で、それ以下は N 値50以上の硬質砂礫層となっている。また、地中常水位は、GL(－)2mである (Fig. 2 参照)。

(2) 埋戻し地盤の土質

Fig. 2 の形状に掘削し、50cm 厚さに敷砂を施工し、供試体のパイプを設置した後、保護砂、砂礫の順にグラブバケットを使用し、できるだけ緩るやかに埋戻しを行った。埋戻し完了後、自然に地下水位の回復を待って、埋戻し地盤が完全に水に浸るようにした。原地盤および埋戻し地盤の土質諸元は、Fig. 2 の表のとおりである。

2.3 落錐および落錐の落下高

当該地点を航行する最大船舶20万t級の使用アンカー18tを対象とし、これに匹敵する鋼塊を、アンカーの底面形状と大体一致するよう改造して

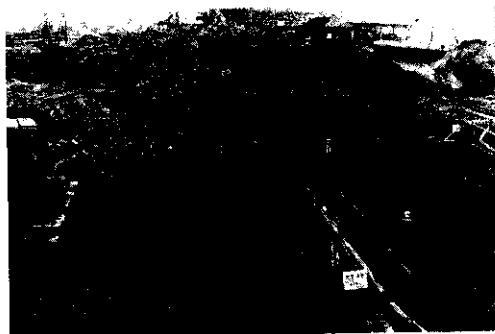


Photo. 3 The view of burying soil by clamshell

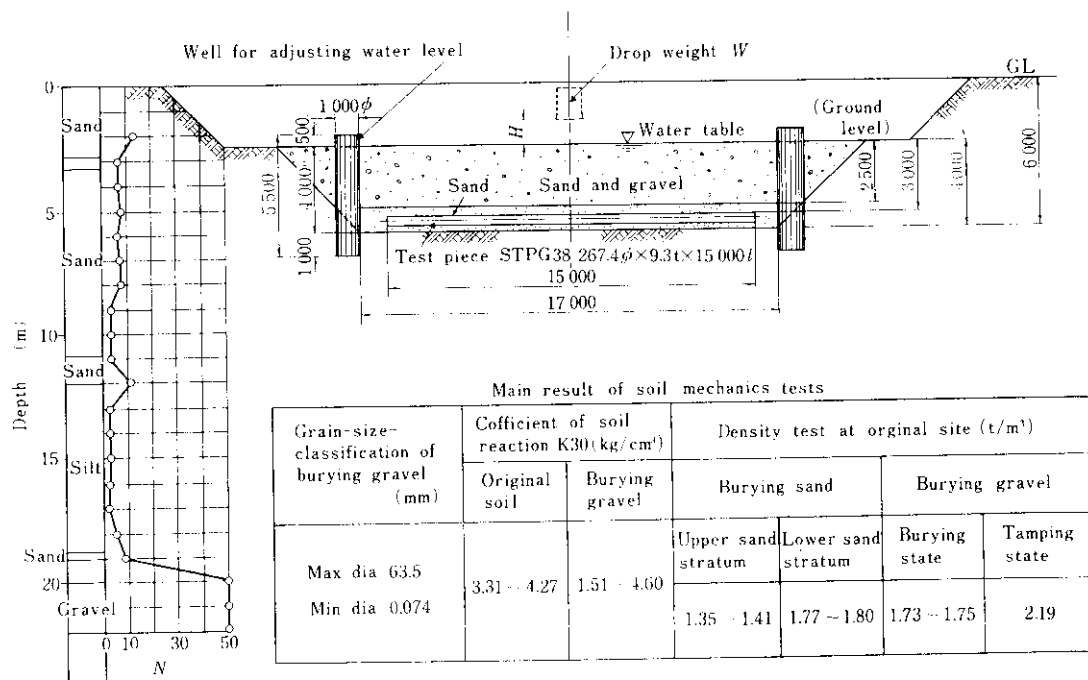


Fig. 2 Drop anchor test profile

使用した (Fig. 3 参照)。また、実験に使用した重錘の落下高さは、対象アンカーの水中自然落下速度を実験または計算式により推定し、これを空中自然落下に置換え、落錘の落下高さを設定した。

アンカーの水中落下速度は、現在、水島港に入港している最大級の船舶である日安丸 (DW 20 万 t) のアンカーでの実測値とウインドラスのブレーキの容量算定式¹⁾により求めた計算値を参考にして推定した。また、実験に使用する落錘の落下時間 T 、落下高さ H は次のようにして求めた。

$$T = v/g \quad \dots\dots\dots (3)$$

g : 重力の加速度

v : 落下速度

$$H = \frac{1}{2} g \cdot T^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

実測値は日安丸の右舷および、左舷のアンカーを水深 19.8m の水中を自然落下させ、落下開始よりチェンの速度が急変するまでの時間を測定した。測定値は左舷 6.5sec、右舷 6.7sec でその差は 0.2sec であった。この実測値より落下速度を求めると $v = 3.2\text{m/sec}$ を得る。この値は船上でチェンの変化を感知する場合のタイムラックなど多少の誤差は考えられるがかなり信頼できる値で

ある。

また、計算値はウインドラスのブレーキの容量算定式を用いて以下のようにして求めた。まず、アンカーの落下高と落下時間との関係は (3) 式で与えられる。

$$H = \frac{1}{l} \text{---} \log \cosh \sqrt{C \cdot g \cdot l} \cdot T \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし

H : 落下高

C : チェン、海水の比重量、ホース、パイプの損料による係数

l : 投錨試験より求まる値

したがって落下速度 v は次式となる。

$$v = \frac{dH}{dT} = \frac{\sqrt{C \cdot g \cdot l}}{l} \tanh \sqrt{C \cdot g \cdot l} \cdot T \quad \dots\dots\dots (6)$$

チェン径 102mm の場合、 C は 0.523、 l は 0.114 となり、これらの数値を入れて整理すると (5)、(6) 式はそれぞれ次のようになる。

$$H = \frac{1}{0.114} \text{---} \log \cosh 0.7644 T \quad \dots\dots\dots (5')$$

$$v = 6.705 \tanh 0.7644 T \quad \dots\dots\dots (6')$$

本実験の場合、 $H = 18\text{m}$ とすると、18m 落下す

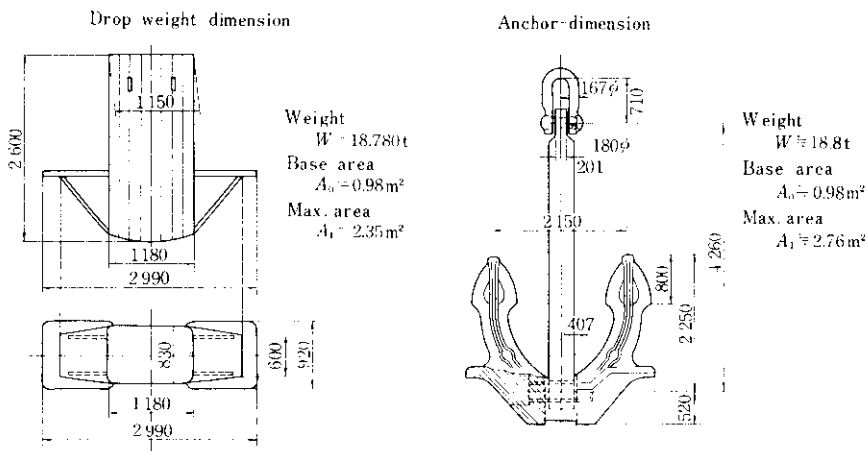


Fig. 3 Drop weight shape

るに要する時間は(5')式より 3.6sec となる。また、速度は(6')式より 6.6m/sec となる。

実測値と計算値について各々空中換算落下高を求めると(4)式から

測定値の場合

$$T=0.33 \text{ sec,}$$

$$H=\frac{1}{2} \cdot g \cdot T^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.33^2 = 0.53 \text{ m}$$

計算値の場合

$$T=0.67 \text{ sec,}$$

$$H=\frac{1}{2} \cdot g \cdot T^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.67^2 = 2.2 \text{ m}$$

となる。したがって、アンカーの水中落下に匹敵する落錐の空中落下高は、0.53m および 2.2m となる。そこで、本実験の落錐の有効落下高は安全側を考え上限値 2.0m を採用した。また、地盤の落錐による性状変化を把握するために、落錐の落下高を 0m, 0.5m, 1.0m, 2.0m の4段階を考えた。落錐の落下方法はトラッククレーンで落錐を吊り上げ、所定の高さになると、スリップシャックルを使用し、別途ウインチを巻くことにより、シャックルが離れ落錐が落下するようにした。

なお、落錐の落下高および、落下位置は **Table 2** のとおりで数字は落錐の順序を示す。落下順序は荷重間の競合を避けるようにした。

Table 2 Dropping order

Height H (m)	Dropping position						
	A	B	C ₁	C ₂	C ₃	D	E
0			5	7	9	1	3
0.5	13	11	6	8	10	2	4
1.0	18	12					
2.0			19	15	14	16	17
3.0		20					
4.0		21					

2.4 計 測

計器は **Fig. 4** のように管応力測定用として、鋼管の5断面A, B, C, D, Eの内外面の周方向および軸方向にワイヤーストレインゲージを貼り付け、また、土中土圧を測定するために、鋼管の中間点上 C₁ に地表面より1.0m, 2.0m, 2.7m の3点におのおの土圧計 BE-20 KF, BE-5 KA, BE-2KA を、また、1m離れた C₂ に地表面から1.5mの地点に土圧計 BE-5 KA をセットした。さらに、落錐が地表面に衝突するときの衝突荷重を求めるために、100galまで計測できる加速度計を落錐の側面に取付けた。

以上の計器による計

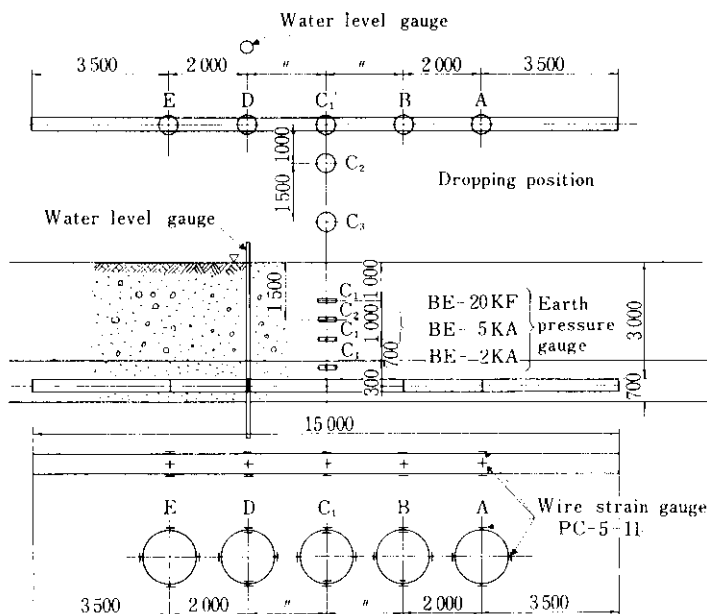


Fig. 4 Gauge setting position

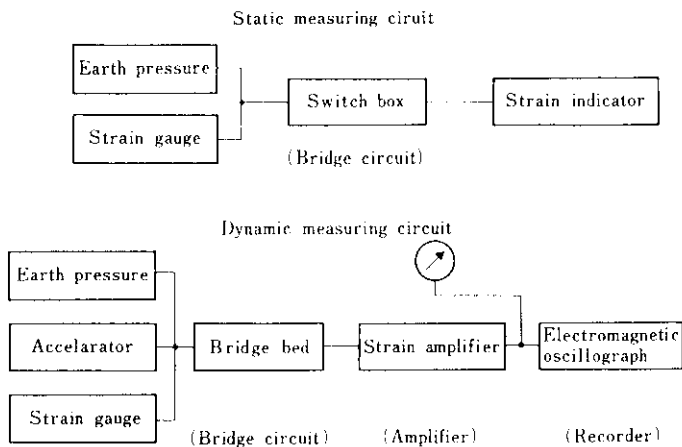


Fig. 5 Block diagram of measuring circuit



Photo. 4 The view of operating gauges (five oscillographs)

測回路のブロックダイアグラムは、Fig. 5 のとおりである。

3. 実験結果と考察

3.1 埋戻し土による管応力

Fig. 6 は埋戻し土によって発生した埋設鋼管の円周方向応力の測定結果をまとめたものである。図中の曲線は側面土圧を無視し、土被り 3.0m の鉛直土圧と地盤反力が等しく作用するものとして、次の式で計算したものである。

$$\sigma_{\theta} = \frac{M_{\theta}}{z} = \frac{1.5q r_o^2}{t^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし

$$M_{\theta} = 0.25 q r_o^2$$

$$z = \frac{t^2}{6}$$

M_{θ} : 円周方向曲げモーメント

(kg·cm)

q : 鉛直土圧 (kg/cm²)

r_o : 埋設鋼管の半径 (cm)

t : 埋設鋼管の板厚 (cm)

この場合の鉛直土圧は、埋戻し土が水で完全に飽和されていることから土の見掛け比重を $\gamma_s = 1.0 \text{ t/m}^3$ とし $q = \gamma_s h = 1.0 \times 3.0 = 3.0 \text{ t/m}^2$ (h : 土被り) とした。図中の 2, 4 点の応力は測定値が計算値にかなり一

致しているが、管頂と管底にあたる 1, 3 点の応力は測定値の方が計算値より小さい値となっている。また、Fig. 7 は水で飽和された土被り 3.0m の埋戻し土の土中土圧を地表面より 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.7m の 4 点で計測した値で、測定値は計算値とほぼ一致している。

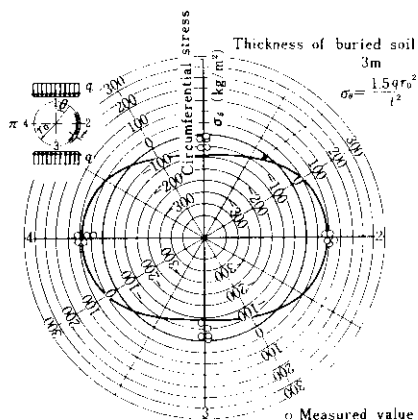


Fig. 6 Circumferential stress generated by buried soil

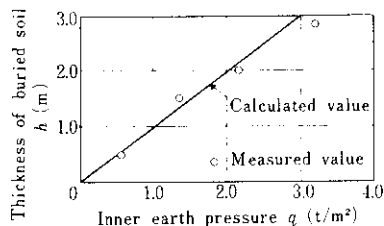


Fig. 7 Inner earth pressure induced by buried soil

3.2 落錐による管応力

Fig. 8は落錐の落下高と土中土圧強度の関係を落錐の落下位置からの距離および、地表面からの深さについて測定した結果を表わしたもので、この図から落下位置から離れるにしたがって土圧が急激に減少し、また、地表面からの深さの増加によっても土圧はかなり減少することがわかった。たとえば、落下位置より1.0m離れると土圧は25%程度に低下することになる。なお、セットした土圧計4点のうち-1.0m, -2.7mの2点については落錐により破損したので、以後の土圧測定は-1.5m, -2.0mの2点にて計測を行なった。

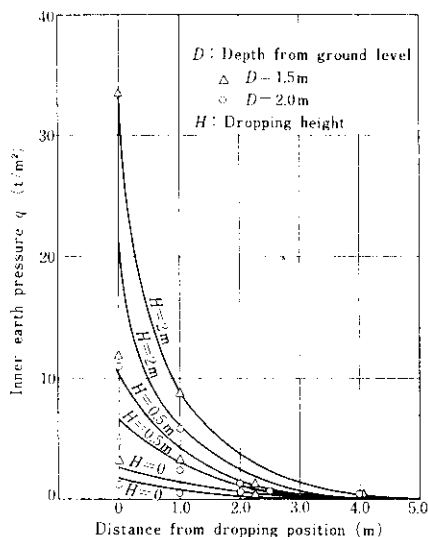


Fig. 8 Relation between earth pressure and distance from dropping position

Fig. 9は落錐の落下高 H と加速度 α および貫入量 Δ の関係と、落錐の落下高とその衝撃荷重により発生する地表面より1.5m, 2.0mの土中土圧の関係および、各落下高による落錐の地表面に貫入するときの地盤の抵抗の度合いを地盤のバネ定数の変化により表したものである。

落錐が一定の高さより落下し、地表面に衝突した場合の落錐の衝撃力と貫入量の関係は、地盤をバネ定数 K をもつ弾性体とし、落錐の落下速度を v とすると落錐の運動エネルギーと地盤反力の

関係は以下のように導かれる。

$$\frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 = K \int_0^{\Delta} x dx = \frac{1}{2} K \cdot \Delta^2 \dots (8)$$

ただし W : 落錐重量, Δ : 貫入量

なお、落錐の衝撃力 $P = K \cdot \Delta$ であるので

$$\frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2 = \frac{1}{2} \Delta \cdot P \dots (9)$$

となる。

しかし、実際には地盤は完全な弾性体でないで、落錐が地表面に衝突し、地盤に貫入するときの挙動は一元的な弾性変形によるものと決め難い。特に、本実験のように地盤がルーズである場合は、落錐により地盤の表層部がまず塑性破壊を起し、その後、地盤の回復とともに地盤は弾塑性変形を起す。この間において落錐の衝突エネルギーが吸収され、落錐の貫入が停止する。この第2段階の弾塑性変形は落錐の貫入量の増加とともに地盤が締め固められ、地盤のバネ定数が増加し、また反力も増加する。さらに貫入が進むと地盤は剪断破壊を起し反力は低下する。これを

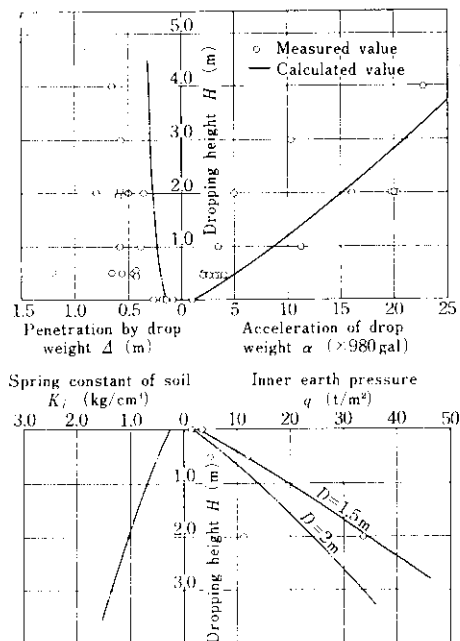


Fig. 9 Relation between dropping height and acceleration, penetration of drop weight or spring constant, earth pressure of buried soil

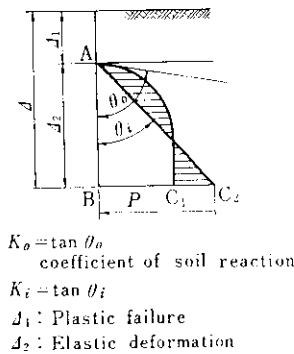


Fig. 10 Spring constant of soil

Fig. 10 を用いて説明すると落錐の貫入量と反力の関係は、曲線で囲まれた面積と直線で囲まれた面積が等しくなるようなバネ常数が作用し、落錐の貫入に抵抗するものと考えられる。

また、落錐が地表面に衝突したときの衝撃力 P は、その衝突加速度を測定することにより次式で求めることができる。

$$P = \alpha \frac{W}{g} \quad \text{.....(10)}$$

α : 落錐が地表面に衝突したときの加速度(gal)

Fig. 11 は落錐が地表面に衝突したときの落錐

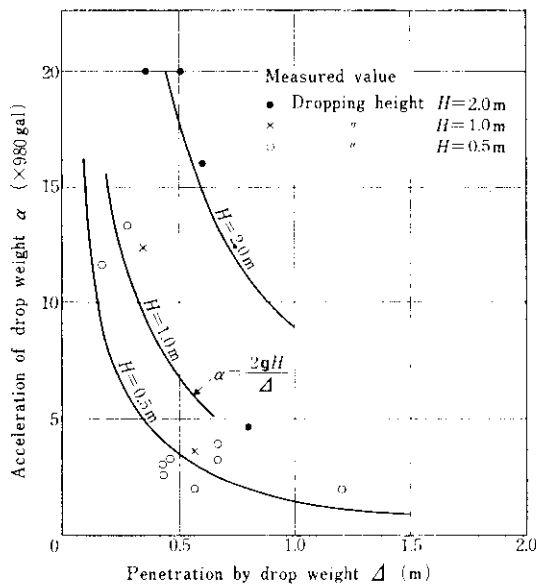


Fig. 11 Relation between acceleration and penetration drop weight about each dropping heights

の加速度と貫入量の関係を表わしたものである。
いま、地盤を完全な弾性体と仮定すると

$$WH = \frac{1}{2} K \cdot \Delta^2 = \frac{1}{2} \Delta \cdot P = \frac{1}{2} \Delta \cdot \alpha \cdot \frac{W}{g} \quad \text{.....(11)}$$

$$\therefore 2gH = \Delta \cdot \alpha \quad \text{.....(11')}$$

となる。

したがって落錐の加速度 α と貫入量 Δ との関係は逆関数の関係となり、図中の曲線のようになる。しかし、地盤が弾性体でないために、測定値との間に差があり、その傾向は落錐の落下高が大きいほど顕著である。

また、落錐の衝撃荷重を(10)式より、地盤を弾性体とし地盤内応力 σ_z を(12)式で求め、土圧を計算すると Fig. 9 の曲線のようになり、地表面より 1.5m の深さでの土圧測定値はかなり計算値に一致することが認められた。

$$\sigma_z = P_0 K_S \quad \text{.....(12)}$$

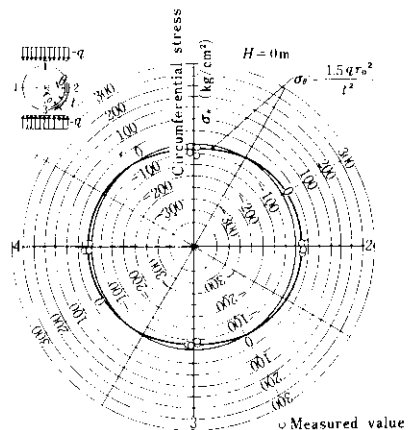
K_S : $m = a/z$, $n = b/z$ (a : 載荷面の短辺,

b : 長辺, z : 深度) の関数

P_0 : 落錐の単位衝撃荷重 (t)

σ_z : 地盤内応力 (t/m²)

つぎに、Fig. 12 は落錐の落下高、0.05m, 1.0m, 2.0m によって埋設パイプ $\phi 264 \times t 9.3$ に落錐荷重のみによって発生する周方向応力の測定結果をまとめたもので、図中の曲線は落錐の加速度より衝撃荷重を求め、側面土圧を無視して周方



(a)

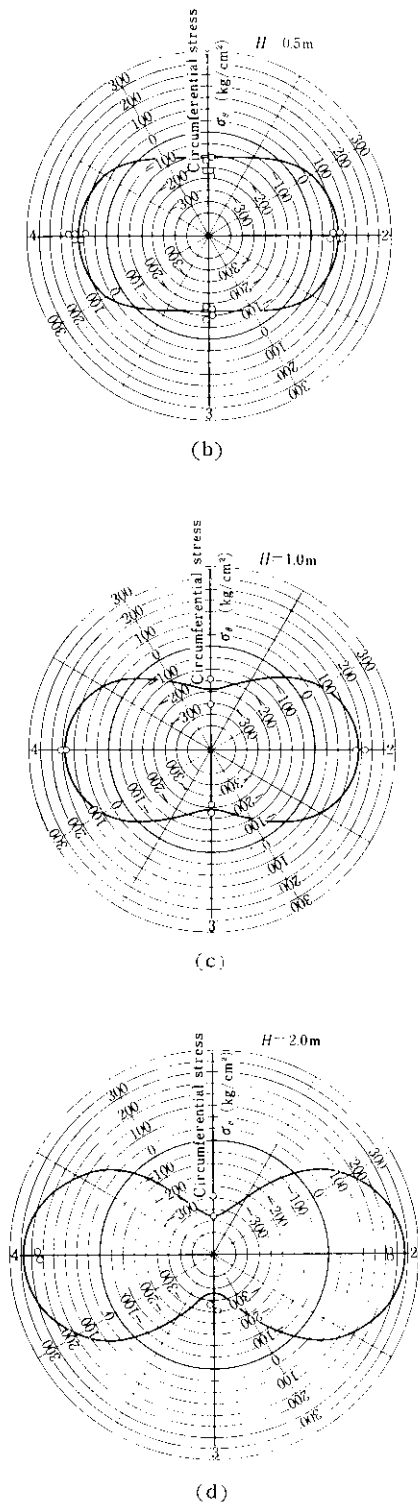


Fig. 12 Circumferential stress generated by drop weight

向応力を計算した値である。測定値は落錐の落下高 2.0m の場合を除き比較的計算値に合致する結果となった。落錐の落下高が大きくなるにしたがい衝撃荷重が大きくなるので、地盤支持機構も不安定となり測定値にばらつきがでる。

Fig. 13 は落錐を埋設パイプ15mの中央に、落下高0.5mより落下させた場合の落下点および2.0m, 4.0m 離れた点の管軸方向応力の測定値をまとめたものである。図中の曲線は Fig. 14 に示すように便宜的に5つの点荷重に分けて载荷し、無限弾性地盤上に支持された無限長梁として、次の式で各点の軸方向応力を求めた値である。

$$M_i = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P_i}{4\beta} e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x)$$

$$= -\frac{P_i}{4\beta} \phi_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

ただし

$$\phi_i = e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x)$$

1式により、図の5点荷重のそれぞれについて

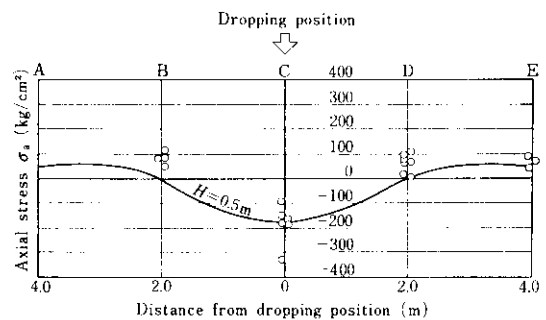


Fig. 13 Axial stress generated by drop weight

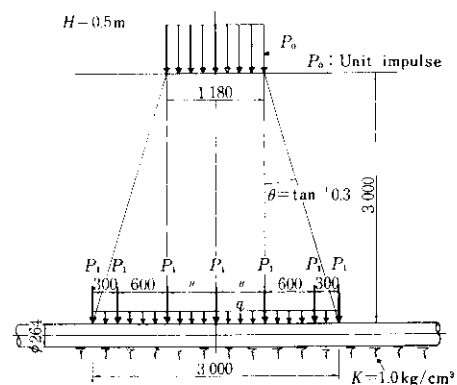


Fig. 14 Analytic model

曲げモーメントを求め、次のように重ね合せ、全体の曲げモーメントを求める。

$$\Sigma M_i = -\frac{P_1}{4\beta} \Sigma \phi_i \quad \dots\dots\dots (14)$$

したがって軸方向応力 σ_a は

$$\begin{aligned} \sigma_a &= -\frac{\Sigma M_i}{Z} \\ &= -\frac{1.5P_1}{t^2\beta} \Sigma \phi_i \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

図から、測定値と計算値が载荷点ではほぼ一致したが、载荷点より2.0m, 4.0mと離れると差が認められた。これは地盤の不均一および、パイプ長15mからくる材端の拘束不十分によるものと考えられる。

Fig. 15 は落錘の落下高と埋設パイプに発生する周方向応力 $\theta = 0, \pi/2$, と軸方向応力 $\theta = \pi/2, -\pi/2$ の測定値をまとめたものである。また、図中の曲線は周方向応力を各落錘の落下高に就いて(7)式で求め、軸方向応力を各落下高に対して(15)式で求めた値を表したもので、落錘の落下高が2.0mまでは比較的測定値と一致するが、落下高が大きくなり3.0m, 4.0mとなると、地盤の土質要因が大きく作用し、かなり差が生じ、一元的な結論を出すことができないが、傾向として錘ごとに地盤が締め、管応力は落下高の増加の割には増さないということがいえる。

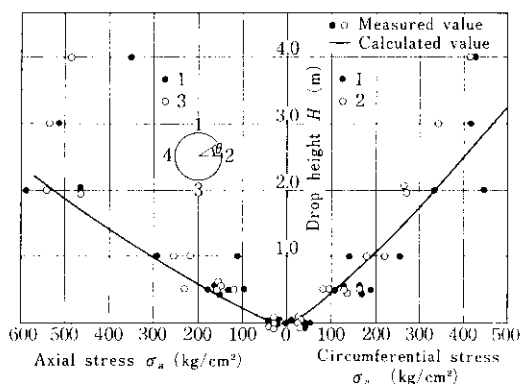


Fig. 15 Relation between dropping height and generated stress in pipe

4. ま と め

本実験の成果をまとめ要点をあげると次のことがいえる。

- 1) 埋戻し土による土圧は浮力を差し引いた埋戻し土の重量に等しいとしてよい。
- 2) 地盤の衝撃力の吸収性は非常に高く、落下点より1.0m離れると土中土圧は約25%に低下する。この傾向は地盤の垂直方向より水平方向の方が大きい。
- 3) 落錘の落下高による加速度はほぼ直線的に増加するが、貫入量はほとんど落下高には無関係で50cm前後の値となった。これは落錘のたびごとに地盤の性状が変化し、貫入量の増加を地盤のバネ定数の増加によって補った結果である。
- 4) 落錘の加速度と貫入量の関係は落下高が小さい間は、ほぼ、(11)式の関係にあるとしてよい。
- 5) 管の周方向応力は、加速度より求めた衝撃荷重で、また、管径が小さい場合は側面土圧を無視した計算式で求めてさしつかえない。また、管の軸方向応力は無限弾性地盤上の無限長梁として計算してほぼ間違いはない。
- 6) 本実験では、管の周方向応力は管頂の方が側面より大きく、軸方向応力は支持条件に左右されるが、周方向応力の約50%以上となった。

本実験を通して、さらに今後検討すべきことは次のことがあげられる。

1. 投錨荷重の評価については、なお数種の錨によって、色々のケースについて実験を行ない、さらに検討する必要がある。
2. 荷重は常にバージンロードとし、落錘による地盤の性状変化の影響を受けないよう配慮する。
3. 埋戻し土として、シルト、砂、礫、および表面プロテクト実施等についても実験を行なう必要がある。

最後に、本実験の計画と実施にあたりいろいろご協力していただいた日本鉱業㈱、川崎重工㈱、

鹿島建設㈱の関係諸氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 中山亘, 金井寅: ウィンドラスのブレーキ容量決定の一考察, 船舶技術, (1969), 58
- 2) S. Timoshenko: 材料力学下巻, 1

