

## 参考文献

- 1) 米沢：土木学会誌第 39 卷第 1 号 (昭 29), p. 38, 第 39 卷第 10 号 (昭 29), p. 509, 第 40 卷第 2 号 (昭 30), p. 59, 第 40 卷第 10 号 (昭 30), p. 7.
- 2) 成岡・米沢：土木学会誌第 40 卷第 5 号 (昭 30), p. 214.
- 3) R. Mayer : Stahlbau 21 (1952), Heft 6, 7 und 8.
- 4) 1) 参照

(昭.30.4.12)

## 表面振動による砂質土の締固めについて

正員 工学博士 村山 朔 郎\*  
 准員 谷本 喜 一\*\*  
 准員 松野 三 朗\*\*\*

## ON THE COMPACTION OF SANDY SOIL BY THE SURFACE VIBRATION

(JSCE Nov. 1955)

Dr. Eng., Sakurō Murayama, C.E. Member, Kiichi Tanimoto, C.E.

Assoc. Member and Saburō Matsuno, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** In this paper, effects of vibrating compaction have been studied, applying the vibrating load on the surface of sandy soil. In order to attain the above purpose, we have measured dry density, settlement, acceleration and the distribution of earth pressure inside the soil, using a two-mass type vibrator, which generates a vertical vibration. In this experiment, the vibrating force was kept nearly constant and only the frequency was changed.

As the result, it becomes clear that the compacting effect and its distribution have conspicuous frequency characteristics, and they are rather influenced by the acceleration than by the intensity of earth pressure in the soil.

**要旨** 砂質土の表面に振動荷重を適用して、振動締固めの効果を研究した。そのため、上下方向の振動力を出す two-mass 型振動機を用い、振動力をほぼ一定にして振動数のみを変化させたときの、土の乾燥密度、沈下量、加速度、土圧の土中分布を測定した。それらの測定結果によれば、締固め効果及びその分布には顕著な振動数特性が存在し、それは土中の振動土圧強度よりもむしろ振動加速度に影響されることが明らかになった。

## 1. 緒言

土の安定工法の一つとして締固め工法は広く用いられているが、その一種である締固めに振動荷重を用いるいわゆる振動転圧工法はわが国では実例が少なく、その研究もまだとぼしい現状である。振動転圧はローラ転圧にくらべて効果が大きい、振動の効果を高めるには土質に応じていかなる振動荷重を加えればよいかということなどには、なお、今後問題が残されているようである。

本文はそれらの問題を調べるために砂質土について行つた若干の実験的研究について述べたものであつ

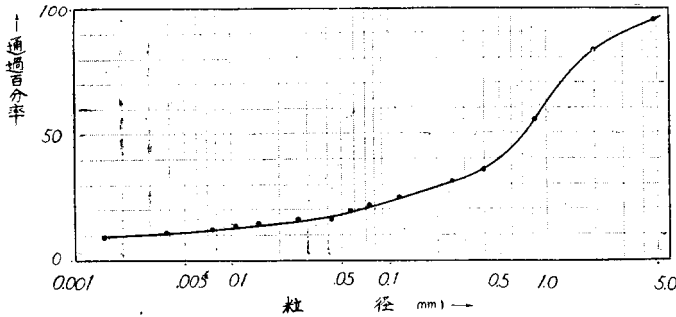
て、用いた振動機は振動力が小さかつたので締固めと称するにはややふさわしくないかも知れないが、求められた強制振動数と沈下量あるいは乾燥密度との関係を見ると、締固めには顕著な振動数特性が存在すること、および締固め効果が振動土圧強度よりもむしろ振動振幅あるいは加速度に影響されることが明らかになった。これは著者らが別に行つた粒体の振動性状に関する実験結果<sup>1)</sup>からも推定されるところで、この点は振動締固め機構の解明に興味がある。

## 2. 試験用試料土

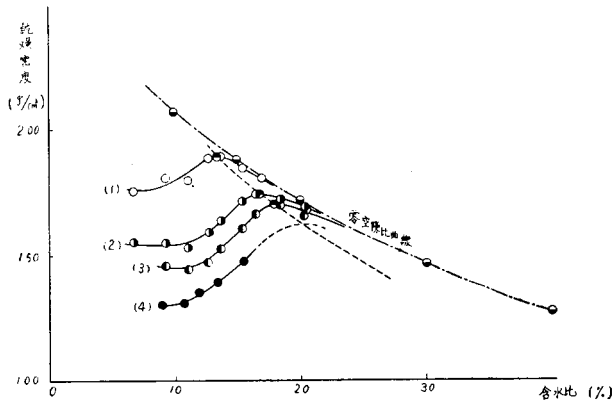
試料土は当教室校庭の土を適当に混合したもので、図-1 のような粒度組成をもつ砂質土であつて、試験時の自然含水比は 13.9~16.5% であつた。図-2 はこの土の突き固め試験結果であるが、JIS A 1210 の標準突き固め試験とあわせて、標準突き固め勢力よりも小さい勢力をもつ 3 種の突き固め試験についての結果も示した。すなわち、(1) 標準突き固め試験、(2) 標準突き固め錘 落下高 5 cm, 打撃回数 15 回のもの、(3) 0.6 kg 重錘 落下高 10 cm, 打撃回数 20 回のもの、(4) (3) の錘 落下高 5 cm, 打撃回数 8 回のもの 4 種の試験結果である。これら微弱な突き固め試験を実施したのは、あとで述べるように振動機の

\*京都大学教授 \*\*京都大学講師 \*\*\*京都大学大学院学生、いずれも工学部土木工学教室

図一 粒径加積曲線



図二 突き固め試験結果



振動力が接地面積に比していちじるしく小さく、その締固め度も小さいので、これと対応をつけるためである。

3. 試験方法および装置

加振用振動機はいわゆる two-mass 型で、最大振動力は約 500 kg であるが、ゆるい土層上に設置する場合には、機械の安定上振動力を制限せねばならないので、試験振動力は約 100 kg 程度の上下動であつた。駆動モーターは 1/2 HP 変速型で、振動機上部に取りつけられ、振動機下部には接地面積 50×50 cm のアンカー・ブロックが取り付けられている。それぞれの重量はモーター：33 kg、振動機本体：80 kg、アンカー・ブロック：59 kg で合計約 170 kg となる。

土層内の振動土圧の測定には電気抵抗線ヒズミ計を利用した最も簡単な型の土圧計を用い、その円板のヒズミによつて電気抵抗線ヒズミ計を変形させて、ブリッジ回路に不平衡状態を作り、不平衡電圧を増幅したのち、電磁オシロ・グラフの鏡の振れで光学的に記録するものである。また土中の振動加速度はチタン酸バリウム磁器結晶片を変換素子とする加速度計<sup>2)</sup>を用い、外部振動によつて結晶片につけた慣性質量を振動させ、そのときの結晶片の圧電電圧を増幅したのち、上

記同様電磁オシロ・グラフで光学的に記録させた。

試験は校庭に直径 1.2 m、深さ 0.8 m の穴を掘り、ここに前記試料土を一定の方法でゆるく埋めもどしつつ、上記計器を振動機ブロック中心を通る鉛直線から等距離に適當の深さに埋めもどした試料表面上に振動機を静置して表面沈下を照査したが、初期静荷重沈下は約 1 時間で十分落ちついてしまうようにみえた。その後一定振動数で一定時間振動機を駆動し、その間の振動土圧（以下単に土圧という）および振動加速度（以下単に加速度という）を測定したのち、振動機を取り除いて表面沈下および各深さの乾燥密度を測定した。乾燥密度を測るための土試料は高さ 5 cm、内径 10 cm のコア・カッターで採取した。その後再び振動機をのせて加振をつづけた。このような操作を 3~5 回行うが、最後に計器を掘り出す際に計器の沈下量を測つて土層内部の沈下の様子を調べた。この方法では加振段階の途中における内部沈下はわからないので、第 3 回目の試験では計器以外にあらかじめ紙を埋設しておき、途中の段階でこれを掘り出してその沈下量を求めた。

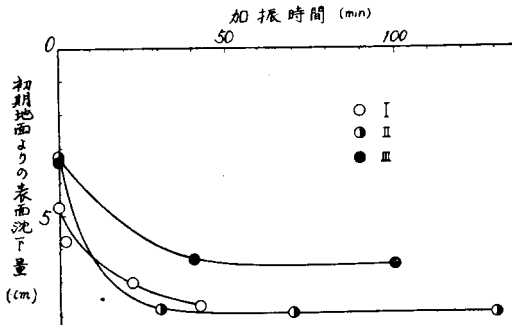
4. 実験結果

上記の実験において振動数の影響のみを比較するためには、振動数を変えたときにも振動力を一定に保つことが好ましいが、機械の構造上振動数の変調範囲が少ない上に振動力も正確に一定にはできなかつたので、結局加振振動数は 15, 14, 13 c.p.s. の 3 種を用い、そのときの振動力はそれぞれ 106, 93, 100 kg となつた。また含水比もできるだけ一定のままで試験を行うつもりであつたが、結果としては多少変化していた。各実験の結果は次のとおりである。

(1) 含水比 16.54%、振動数 15 c.p.s.、振動力 106 kg この試験は延べ 42 分間行つたが、途中適当な時期に土圧および加速度を測り、また振動機を 3 回停止して地表面沈下および乾燥密度測定を行つた。なお土圧計および加速度計の初期地表面からの埋設深さ（初期深度）は 15, 30, 45 cm の 3 か所である。

表面沈下と加振時間との関係は図一 3 中の I-線に示す。ここで加振時間 0 に対する沈下量は、振動機重量による 1 時間後の静荷重沈下量である。つぎに内部

図-3 加振時間—表面沈下量曲線



沈下量は試験終了後の計器の沈下から求め、各初期深度に対して図-4の結果を得た。図をみれば深さが大になればあまり沈下しないことが認められる。乾燥密度は加振直前、加振後2分、22分、42分の4回に測定したが、初めの2回は地表面のみで測り、あとの2回は深さ方向に4点で測った。その結果は図-5に示すとおりで、時間とともに大きくなるが22分と42分の結果は大差なく、これ以上は縮らないようである。

土圧および加速度の測定はそれぞれ4回づつ行い、その結果は、図-6によると土圧は時間とともに増大し、図-7によると加速度は時間とともに減少する傾向がみられるが、いずれも深さ方向に減少している。

図-5 乾燥密度—深度曲線 (実験 I)

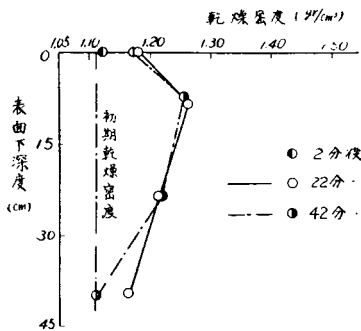


図-6 土圧—深度曲線 (実験 I)

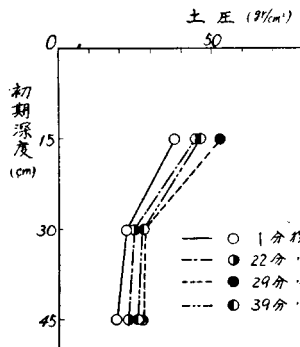
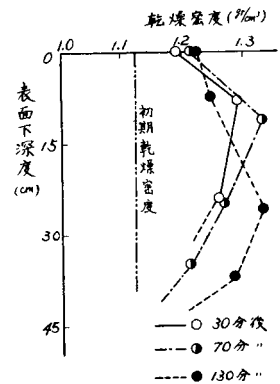


図-8 乾燥密度—深度曲線 (実験 II)



土中の振動を正弦波振動と仮定して加速度測定結果から振動変位を計算すれば、図-7の下に記した変位目盛が得られる。これからわかることは、土が締つてゆくに連れて振動変位はしだいに減少すること、これはのちに述べる結果についても同様にみられる。

(II) 含水比 15.07%, 振動数 14 c.p.s., 振動力 93 kg 次に同一試料で振動数を 14 c.p.s. に変えて同様の試験を行った。このときの振動力は前述のごとく実験 I よりやや小さく 93 kg であった。この場合は試験時間を長くとり、130 分としたが途中で測定を行った回数は実験 I とほぼ同様である。

表面沈下と加振時間との関係は図-3に、130 分後の内部沈下の測定結果は図-4に示す。この場合初期深度と内部沈下量とはほとんど直線関係にあり、初期深度が45~50 cm 以下の土は全然沈下を起しておらず、これ以下には振動の影響が及ばないこととなる。図-8は乾燥密度測定結果でIの図-5に相当する。

土圧測定結果は図-9のごとく図-6と大体同じ程度の値と分布を示しているが、時間とともに次第に値を減じていることは図-6の場合と全く逆である。つぎに加速度測定結果は図-10に示すとおり、図-7と同様な傾向を有し、加速度は時間とともに減少し、深さ方向にも減少している。

図-7 加速度—深度曲線 (実験 I)

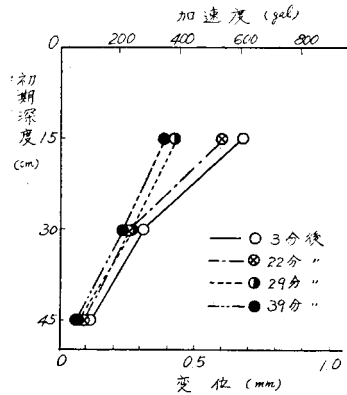


図-9 土圧—深度曲線 (実験II)

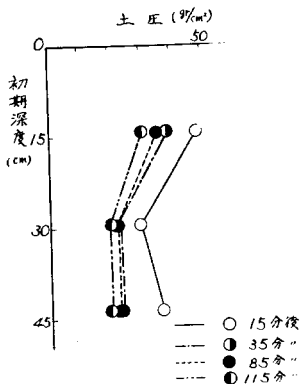
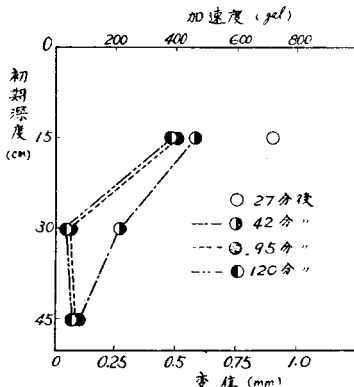


図-10 加速度—深度曲線 (実験II)



の乾燥密度測定結果 図-5, 図-8 と傾向においていちじるしい差がみとめられる。すなわち 図-11 においては、深さ 40 cm までほとんど均一に締つている。

図-12 は土圧測定結果であつて、計器のうち 1 個が故障したため 2 点しか測定値をうることができなかった。図-13 は加速度測定値であつて、時間とともにその値が小さくなつてきていることは、I, II の場合と全く同様である。すなわち土が締まるにつれて振動しにくくなることはいずれの場合にも成立つことがらのように思われる。

(III) 含水比 13.90%, 振動数 13 c.p.s., 振動力 100 kg 振動数を 13 c.p.s. として振動力を I, II とほぼ同一にするため、偏心質量を少し増加して 100 kg とした場合について同様の試験を行つた。試験時間は 100 分とし途中 1 回停止した。

さて表面沈下と加振時間との関係は 図-3 に示す。なお内部沈下量の時間変化を求めるため、本実験においては試験の途中で振動機を停止した場合にもこれを測つた。この際 I, II の場合のごとく土圧計を掘り出すことは以後の土圧測定に支障をきたすことになるから、別にあらかじめ埋め込んだ紙片を掘り出し、その沈下量を測つた。このようにして加振後 40 分および 100 分の土中各深さの層の沈下量を求めた結果は 図-4 に示した。図-4 よりみられるごとく、40 分後、100 分後の曲線はいずれも I の 42 分後の場合の結果と比較して曲線の凹凸が逆になつてきている。この差異は後述の乾燥密度測定結果にも表われている。

図-11 は乾燥密度測定結果であつて、これは I, II

図-11 乾燥密度—深度曲線 (実験III)

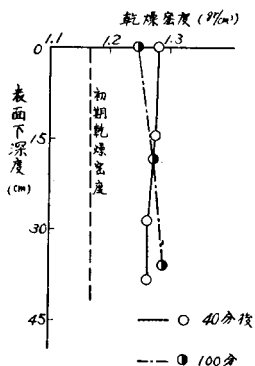


図-12 土圧—深度曲線 (実験III)

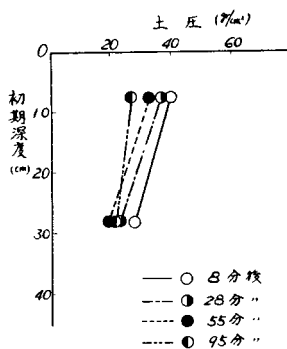
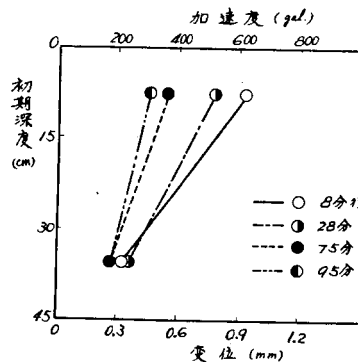


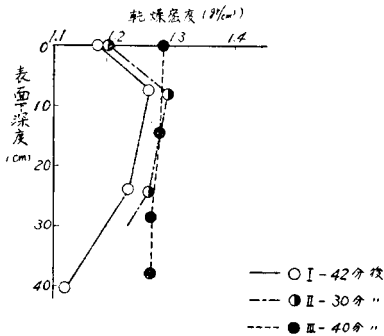
図-13 加速度—深度曲線 (実験III)



### 5. 考 察

実験 I, II, III の表面沈下量と加振時間との関係曲線を比較すると、図-3 のごとく初期の静的沈下量の違いは多少あるが、I, II の振動による沈下の程度はほぼ同様で III の表面沈下量はやや小さい。しかしいずれも沈下は最初の数十分に生じ、以後はほとんど進んでいない。一方土中各深さの沈下量を比較すれば 図-4 のようになり、深い所ではむしろ III の場合の沈下量が大きく、各場合の沈下の仕方にも多少の相異があるようである。図-4 においては加振時間がすべて一致していないので同一に比較することはやや無理であるが、I と III の 40 分、II と III の 130 分はほぼ時間的に等しいからこれを比較すると、曲線の凹凸に差異のあることが明らかである。すなわち I は上に凸、II はほぼ直線状で、III は上に凹である。この沈下量が側方流動なしに直接土層を圧縮した結果であれば、締固め度は I においては土中の浅い部分で大きく、深くなるにつれて小さくなるであろうし、また II においては土中の深さ

図-14 乾燥密度-深度曲線



に關せず一定で、III においては土中の浅い所で小さく、深い所で大きくなっているはずである。しかし実際には側方流動が生じているようで、それは 図-14 の乾燥密度の比較図から推察することができる。すなわちこの図によれば I, II は上部で大きく下部で小さい値を示しているのに対して、III は約 40 cm の深さまでほぼ一定の値であるからである。これらのうち III の場合が締め方としてはもつとも良好である。このように沈下量と乾燥密度との関係は必ずしも対応はしないが、これには側方流動が大きな影響を与えるものと思われる。

土圧および加速度の比較はそれぞれ 図-15, 16 のようになる。土圧計はその構造上その測定値に十分の信頼をよせるわけにはゆかないかも知れないが、土圧の比較をする上にはこの程度でも十分と思われる。図-15 によれば土圧は大体の I, II, III の順に小さくなっているが、図-16 の加速度値は逆に III, II, I の順に小さくなっている。また 図-

図-15 土圧-深度曲線

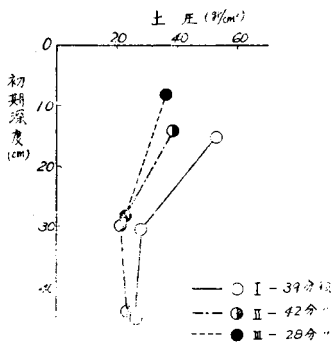
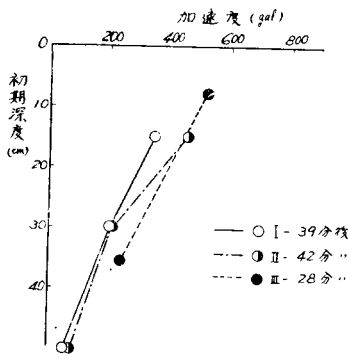
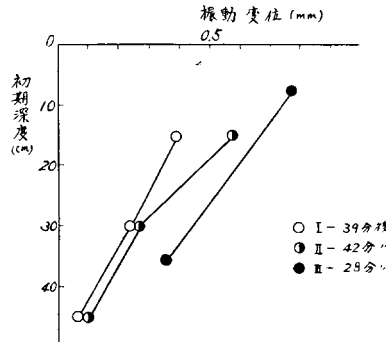


図-16 加速度-深度曲線



14のごとく乾燥密度は、III, II, I の順に小さくなっているから、締めめは土圧よりもむしろ加速度に依存するように思われる。また振動変位を比較すると 図-17 のようになるが、これも III, II, I の順に小さくなり、締めめ方の大きさの順になつていて、締めめ効果は土圧強度よりもむしろ振動変位あるいは加速度に影響されることが認められる。以上述べた実験は振動数のみを変えて行うつもりであつたが、含水比および振動力もわづかではあるが異なつていたため、それらの影響の有無も追求しておかなければならない。

図-17 振動変位-深度曲線



これらのうち振動力は鉛直力として沈下量と土圧強度の値には直接変化を与えるが、実験 I, II, III において用いた 106, 93, 100 kg 程度の振動力の違いは、その深さ方向の分布状態の点ではいちじしい相違をもたらすとは考えられない。まして本実験結果において締めめ効果と振動力との間になんら一定の規則的な関連がみられないことよりしても、振動力は一応除外してよさそうである。従つて次に含水比について照査する。

図-2 に示した突き固め試験において、突き固め勢力が小さくなれば最適含水比は次第に大きくなる。図-2 においては 4 種の突き固め試験結果を示しているが、その乾燥密度は振動機によつて締めめられた乾燥密度よりいずれも大きい。しかし振動機による締めめにおける含水比及びその時得られた乾燥密度の値よりみると、図-2 のうち曲線 4 が振動機の締めめ勢力にはほぼ近似しているようであるから、かりに曲線 4 をもつて振動機による締めめの乾燥密度-含水比曲線と仮定する。そうすれば実験 I, II, III の含水比はそれぞれ 16.5, 15.1, 13.9% であるから、振動締めめの勢力が同一であるものとするれば含水比の大きい I がもつともよく締め、含水比の小さい III がもつとも締めまらないはずである。しかし実験結果は逆である。ゆえに実験 I, II, III の結果の差異は含水比にもとづくものではなく、主として振動機振動数の差異にもと

ずくものと考えられる。実験 I, II, III に用いた振動数はそれぞれ 15, 14, 13 c.p.s. でその間にそれほど大きい差はないが、上述のように締固め効果には差がみられ、振動数の低い側で締り方がよいことを示している。また一定加振時間中の打撃回数に関しては、振動数が低いほど打撃回数は少ないのに締固め効果が良好なのは、主として加速度ないし振動変位が振動数の低い側で大きく、その結果土中の内部摩擦がより一層減少されて締固めに対する抵抗が小さくなるためであると思われる。実際 13 c.p.s. が 15 c.p.s. よりも共振側にあるらしい若干の根拠はあるが、ゆるい土の共振点を求めることは實際上多少困難な問題もあり、これらの点の究明については今後にゆずりたい。ゆえにここで強調できることは、締固め効果が振動数のわずかな変化に対してもかなり明らかに現われているという点である。

## 6. 結 言

以上のことがらのごくわずかな実験例でもあり、またその実験方法や測定誤差などを考えれば、この結果をもつてただちに土の振動性を決定づけることはなお

危険であるが、一応の傾向は把握しているようであるから、その点を要約すれば次のようになる。

i) 用いた土試料の振動による締固め効果を沈下量及び乾燥密度変化の点より検照した結果、振動数の微小変化によつてその効果に明らかな差異があらわれ、いわゆる振動数特性が存在することが明らかになったが、それは主として振動数変化による振動加速度あるいは振動変位の変化に起因するものと思われる。

ii) 加振時間が経過するにつれて土中一定の点の振動加速度ないし振動変位は減少し、次第に一定値に近づいてゆく。それにつれて沈下ないし乾燥密度変化も変動が小さくなる。

なお本研究は建設省研究補助金によるものであることを付記し関係各位に深謝する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 村山朔郎・谷本喜一：粒体の振動性状について、土木学会誌投稿予定（未発表）
- 2) 村山朔郎・谷本喜一：チタン酸バリウム磁器を用いた加速度計、土木学会誌 39—9, p. 455. (昭.29.9)

(昭.30.4.20)

# 横島港におけるゴム防舷材について

正 員 春 田 忠 雄\*

## ON THE RUBBER FENDER IN YOKOSHIMA HARBOR

(JSCE Nov. 1955)

Tadao Haruta, C.E. Member

**Synopsis** This report deals with the design of and experiment on the facilities with respect to the following items:

1. Design of the ship mooring facilities.
2. Form and quality of rubber for fender.
3. Design of the fender.
4. Construction of the fender.

**要旨** 大型船用接岸施設の改良補修にあたり防舷材にゴムを使用した。本文はその設計や実験などの報告である。

### I. 横島繫船施設工事の概要

#### 1. 繫船施設の概要

広島県下の横島に戦時中に設けた貯油施設があるが、大型タンカー船が接岸しうよう補修改良をした。在来の施設は 10 000 t 級タンカーを対象とし、海岸より約 100 m 鉄筋コンクリート渡橋を出し、その先端に繫船用ドルフィン 3 基を 35 m 間隔で設けて

ある。そのドルフィンはケーソン（長さ 10 m, 巾 9.5 m, 高さ 11.5 m）を主体とし、前面水深を -9.3 m にしている。これを 15 000 t 級タンカーが接岸しうよう改良したが、各ケーソンの前面に直径 2~3 m の円筒形脚柱を 2 本立て、それを桁と床版でケーソンに連絡し前面水深を -10.4 m とした（図-1, 2）。

#### 2. 自然的条件

- a) 位置：施設は横島の南西端にあり南方は海をへだてて四国に面している。
- b) 波高：対岸距離から算定すると最大 2.2 m
- c) 潮流：ドルフィンに平行に 1~2 ノット

\*運輸省第三港湾建設局，広島港工事事務所長