

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第4109号

土 木 研 究 所 資 料

遠心場における動的載荷試験を用いた 水中基礎のサクションに関する研究

平成20年3月

独立行政法人土木研究所
構造物研究グループ基礎チーム

土木研究所資料 第四〇九号 遠心場における動的載荷試験を用いた水中基礎のサクションに関する研究

平成二十年三月 独立行政法人土木研究所

遠心場における動的載荷試験を用いた 水中基礎のサクションに関する研究

構造物研究グループ（基礎）	上席研究員	福井 次郎 ¹⁾
	上席研究員	中谷 昌一
	主任研究員	石田 雅博 ²⁾
	主任研究員	竹口 昌弘
	交流研究員	浅井 隆一 ³⁾
	交流研究員	齋藤 隆 ⁴⁾

要 旨

新交通軸における超長大橋建設に関する技術検討の中で、経済的な大水深基礎の建設技術が課題の一つに挙げられており、直接基礎の底面のサクション効果を考慮した新しい設計手法は、その有効な手段と考えられる。

そこで、大型遠心載荷試験装置を用い、基礎模型の底面に実物大相当の水圧を作用させた状態で荷重を与え、サクション効果を検証する遠心載荷実験を行った。水深、地盤種別、載荷方法、止水構造をパラメータとした影響検討を行い、水深に応じたサクション効果の増加や、止水スカートによる効果を確認した。また、透水性地盤においてもサクション効果は得られ、繰返し載荷後においても効果が復元される事が分かった。

キーワード：水中基礎，直接基礎，サクション効果，遠心載荷実験

- ¹⁾ 現 構造物研究グループ グループ長
- ²⁾ 現 国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所 事務所長
- ³⁾ 交流研究員在職期間：平成15年4月～平成17年3月
- ⁴⁾ 交流研究員在職期間：平成17年4月～平成19年3月

目 次

1. はじめに	1
2. これまでの実験・研究	2
2.1 重力場におけるサクシヨン効果の模型実験	2
(1) 実験方法	2
(2) 実験結果	2
2.2 サクシヨンによる抵抗特性の分析と修正浮き上がり抵抗式の提案	3
(1) サクシヨンによる抵抗特性.....	3
(2) サクシヨンを考慮した浮き上がり抵抗式.....	2
2.3 サクシヨンを考慮した耐震設計例	5
3. 遠心場における動的載荷実験	6
3.1 実験の目的	6
3.2 実験の内容	7
3.2.1 実験装置	7
(1) 実験施設	7
(2) 基礎模型	9
(3) 実験地盤	12
3.2.2 載荷方法	15
(1) 載荷装置の仕様	15
(2) 載荷方法	17
3.2.3 実験ケース	19
3.2.4 測定項目および計器の配置	21
(1) 測定項目および計器の配置.....	21
(2) データ収録	30
3.3 実験結果	31
3.3.1 最大抵抗モーメントに関する整理.....	31
(1) 抵抗モーメントの算定法.....	31
(2) 最大抵抗モーメントと水深の関係.....	32
(3) 繰返し載荷の影響.....	36
3.3.2 フーチング底面の間隙水圧に関する整理.....	40
(1) 透水性地盤の密度管理.....	40
(2) フーチング底面の間隙水圧.....	42

4. まとめ	51
参考文献	52
付録	53
付-1 江戸崎砂の土質試験結果	54
付-2 サクションを利用した水中基礎 ～ スカート・サクション基礎 ～	103

1. はじめに

現在検討が進められている新交通軸における超長大橋の下部構造については、大水深など過酷な自然環境下での施工技術が要求されるとともに、基礎寸法を小さくして工費削減が期待できる合理的な基礎形式の開発が求められている。一般に超長大橋の基礎は水深の深い海洋部に設置される事が想定され、特に架橋地点において支持層が深い場合には、従来の長大橋で多くの実績を有する直接基礎では大規模な浚渫が必要となり、工費・工期が増大するためである。

このため、「超長大橋下部構造の設計・施工の合理化に関する試験調査」において、大水深下の直接基礎を合理的に設計するために従来の設計では無視していた基礎底面に作用するサクシジョンの効果を考慮する手法を採り上げ、研究を進めてきた。ここでいうサクシジョンとは、基礎底面が地震時の慣性力などにより回転して浮き上がり、基礎底面下の隙間体積の増加により生じる水圧低下に起因して、基礎の浮き上がりに抵抗する力のことである。

平成 13 年度～15 年度においては、水中基礎の地震時のサクシジョン効果について重力場における模型実験を行いサクシジョンの特性を明らかにするとともに、FEM を用いた動的解析による検証や新しい耐震設計法の提案を行ってきた。（土木研究所資料第 3896 号「水中基礎に作用する地震時のサクシジョンに関する研究（平成 15 年 3 月）」）

本資料は、これらの研究の成果を受け、実物大相当の水深下におけるサクシジョンの効果を調査するために行われた遠心場での模型実験の結果を取りまとめたものであり、水深の影響に加え地盤種別による差異や止水構造の効果について整理・分析を行い、考察を加えたものである。

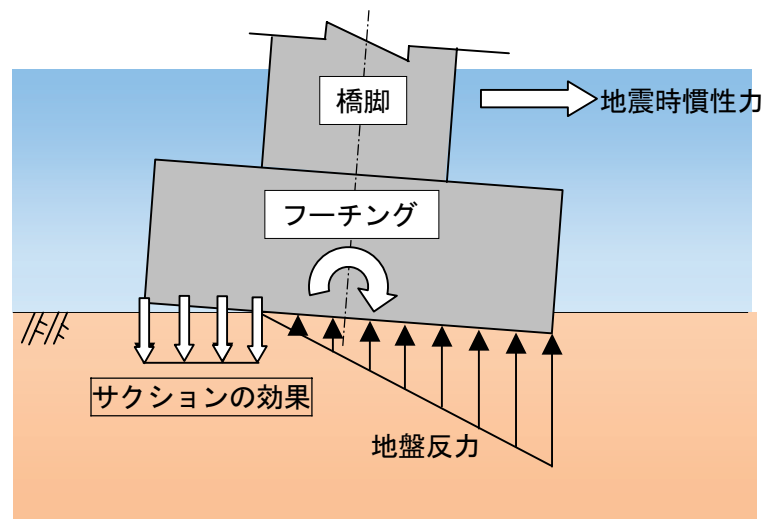


図-1 水中基礎のサクシジョンの効果

2. これまでの実験・研究

2.1 重力場におけるサクシオン効果の模型実験

(1) 実験方法

L1700mm×B800mm×H700mm の水槽内に、不透水性地盤を想定して表面に硬度 40 のゴム板を接着したコンクリートブロックによる厚さ約 200mm の地盤を作成した。基礎模型は、図-2.1 に示すように L500mm×B400mm×H130mm のフーチングおよびφ34mm のパイプをトラス状に組んだ橋脚からなる構造とした。フーチング下面には水圧計を設置している。水槽内に注水した状態で基礎模型を設置し、橋脚頭部に変位制御による水平荷重を载荷して基礎の浮き上がりによって生じるサクシオンの影響を調べた。実験ケースを表-2.1 に示す。パラメータは载荷速度、止水構造、水深である。ここで示す止水ゴムとは、基礎が浮き上がったときにフーチング下面に生じる隙間への水の流入を防止するためにフーチング下端面周囲に取り付けたゴム板である（図-2.2）。

(2) 実験結果

図-2.3 に不透水性弾性地盤において止水構造を用いない C15～C17 の抵抗モーメントの時刻歴を示す。基礎の抵抗モーメントのピーク値は角速度が大きいほど大きくなることがわかる。

また、フーチング下端周囲に止水ゴムを取り付けた C35, C36 の抵抗モーメントの時刻歴を図-2.4 に示す。C35, C36 の抵抗モーメントは図-2.5 に示した止水構造のないケースに比べるとかなり大きな値となっている。また最大抵抗モーメントは角速度に依存せず、時間的にも継続していることがわかる。なお、 $t=1.2$ (sec) 付近で C36 の抵抗モーメントが低下しているのは、止水ゴムが基礎底面に巻き込まれて水が流入したためである。

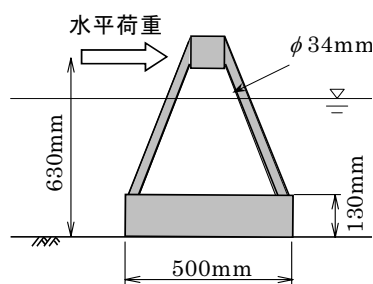


図-2.1 基礎模型

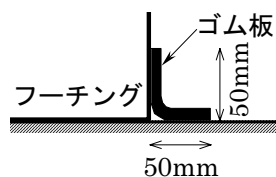


図-2.2 止水ゴム

表-2.1 実験ケース

ケース	载荷速度	止水構造	水深
C11	0.2rad/sec	なし	250mm
C15	0.05rad/sec		500mm
C16	0.1rad/sec		
C17	0.2rad/sec		
C35	0.05rad/sec	止水ゴム	500mm
C36	0.2rad/sec		
C38	0.2rad/sec		250mm

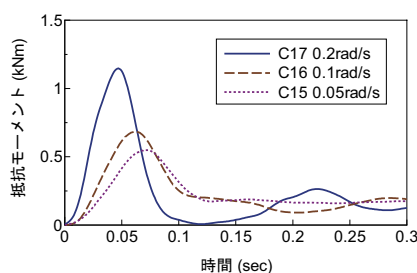


図-2.3 载荷速度による差異

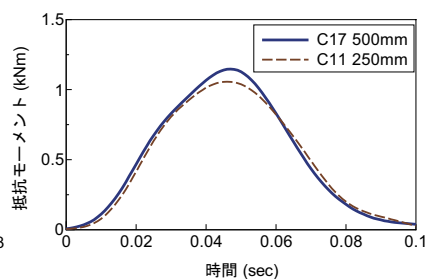


図-2.4 水深の違いによる差異

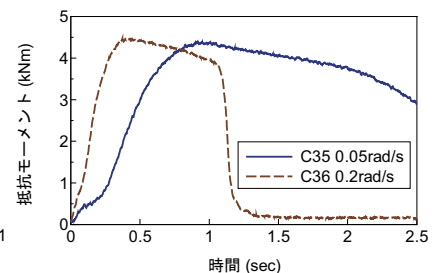


図-2.5 止水構造がある場合

2.2 サクシヨンによる抵抗特性の分析と修正浮き上がり抵抗式の提案

(1) サクシヨンによる抵抗特性

室内模型実験の結果より、サクシヨンの作用状態には、大別して2つの状態があることがわかった。

状態 a) サクシヨンの大きさが基礎の角速度に依存する場合：浮き上がった基礎底面下に水が充満しており、基礎の角速度に応じて水の流動および圧力変動が生じる状態。

状態 b) サクシヨンの大きさが基礎の角速度に依存しない場合：基礎の浮き上がりに対し、水の流入が遅れるもしくは構造的に流入が遮断された場合に基礎底面下が真空になり、その後、圧力の変動が止まり、一定量のサクシヨンが持続する状態。

基礎の設計では、力（加速度）あるいは変位量の大きさにより構造が決定される。基礎が回転運動する際の作用モーメントや回転角が最大となる状態での角速度はゼロに近く、状態 a) ではサクシヨンがほとんど発生せず、基礎の設計に影響しない。一方、状態 b) では発生したサクシヨンが基礎の角速度に依存せず持続させられるため、設計で考慮することが可能であると考えられる。そこで、状態 b) を対象として修正浮き上がり式の検討を行った。

(2) サクシヨンを考慮した浮き上がり抵抗式

状態 b) を想定して道路橋示方書²⁾の直接基礎の浮き上がり式（以下「道示式」）を、サクシヨンの効果を考慮した浮き上がり抵抗式（以下「修正式」）に拡張する。

図-1 に示すように、水中基礎に作用する転倒モーメントに対しては、地盤反力度とサクシヨンが抵抗する。したがって、抵抗モーメント M は地盤反力度による抵抗モーメント M_E と浮き上がり部のサクシヨンによる抵抗モーメント M_S の合計であり、式 (1) で表される。

$$M = M_E + M_S \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

M_E と非線形応答回転角 θ の関係は、サクシヨンによる鉛直力の変動を考慮して式 (2), (3) で表すことが出来る。

$$\frac{M_E}{M_0} = 3 \frac{e}{B} \left(2 + \frac{BDp_s}{V_0} \left(6 \frac{e}{B} - 1 \right) \right) \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

$$\frac{e}{B} = \frac{1}{2} + \frac{BDp_s/V_0 - \sqrt{(BDp_s/V_0)^2 + 4(BDp_s/V_0 + 1)(\theta/\theta_0)}}{6(\theta/\theta_0)} \quad \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

ここに、 M_0 : 浮き上がり限界モーメント、 θ_0 : 浮き上がり限界回転角、 θ : 回転角、 e : 鉛直荷重の偏心距離、 B : 基礎幅、 D : 基礎奥行き、 V_0 : 死荷重（浮力考慮）、 p_s : サクションである。

このとき、基礎に作用するサクションは一定圧力である静水圧と大気圧がゼロ（真空状態）となる水圧変動量であるため等分布と仮定できる。これは実験でも確認されており、図-2.6 に示す C35 で実測された浮き上がり時の基礎底面の水圧は、ほぼ真空に近い等分布で作用していることがわかる。

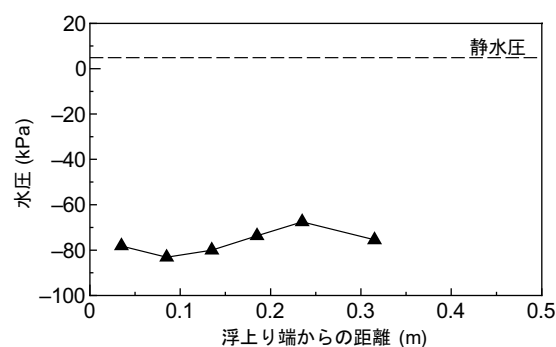


図-2.6 基礎底面水圧分布

また、 M_s は式 (4) のように表される。

$$\frac{M_s}{M_0} = 9 \frac{BDp_s}{V_0} \left(2 \frac{e}{B} - 3 \left(\frac{e}{B} \right)^2 - \frac{1}{4} \right) \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

よって、式(1)、(2)、(4)より M は次式で表される

$$\frac{M}{M_0} = -\frac{9}{4} \frac{BDp_s}{V_0} + \left(6 + 15 \frac{BDp_s}{V_0} \right) \frac{e}{B} - 9 \frac{BDp_s}{V_0} \left(\frac{e}{B} \right)^2 \dots\dots\dots \text{式(5)}$$

図-2.7 に、道示式と修正式による基礎のモーメント～回転角関係を示す。道示式に比べ修正式の方が抵抗モーメントは大きく、同じ抵抗モーメントに対する回転角は小さくなることがわかる。

また、修正式の妥当性を検証するために、実験結果との比較を行う。図-2.8 に C35 において実測された抵抗モーメント、修正式で算出された抵抗モーメントと回転角との関係を示す。修正式により算定した抵抗モーメントは、C35 の実験結果と非常に良く整合しており修正式と非常に良く整合しており修正式は妥当であると判断できる。

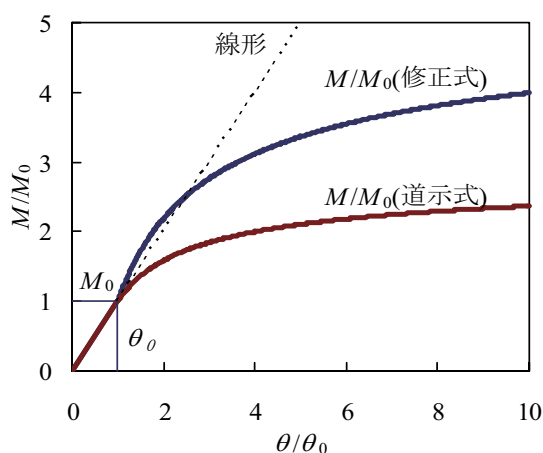


図-2.7 モーメント～回転角

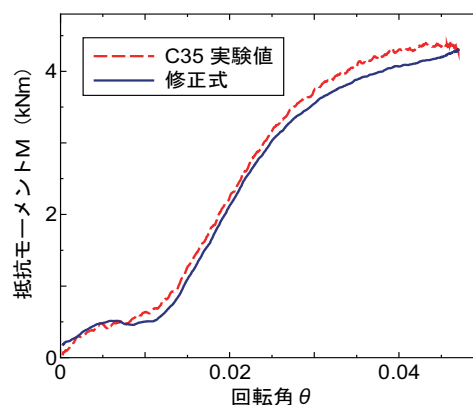


図-2.8 実験値と修正式の比較

2.3 サクシオンを考慮した耐震設計例

海峡横断プロジェクトの試設計案に示される吊り橋のアンカレイジに対して、サクシオンを考慮した耐震設計を行った。図-2.9にサクシオンを考慮した設計を行った場合の構造を、表-2.2に地震時安定照査結果の比較を示す。ここで、試設計案では、基礎底面寸法は常時の支持力から、その他の構造寸法もアンカーフレーム、サドルの諸元、配置等から決まっているため、地震時の支持力、滑動の安全率には余裕がある。このためサクシオンを考慮した試設計においても、基礎底面形状は同じとし、アンカーフレーム、サドルの諸元、配置等を考慮した上で、支持力、滑動の安全率が試設計案と同程度になるよう躯体重量を変化させた。その結果、サクシオンを考慮することでコンクリート体積は試設計案に対し約2割削減することができた。

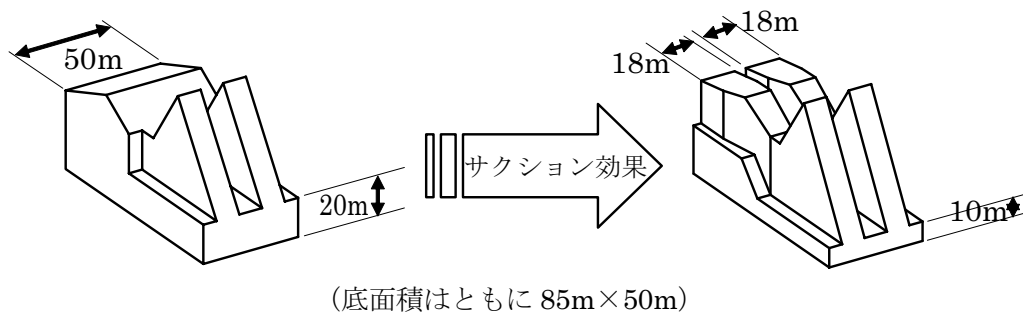


図-2.9 超長大橋アンカレイジの試設計
(左:基本案, 右:サクシオン効果考慮)

表-2.2 地震時安定照査結果の比較

		単位	試設計案 1	試設計案 2
底面諸力	鉛直力	MN	1,646	1,875
	水平力	MN	1,875	1,959
	モーメント	MN・m	53,798	51,607
支持力照査	極限支持力	MN	5,368	6,744
	安全率(≥ 2.0)	—	3.26	3.60
滑動照査	抵抗力	MN	4,417	5,173
	安全率(≥ 1.2)	—	2.36	2.64

3. 遠心場における動的載荷実験

3.1 実験の目的

重力場での室内模型実験結果より推定されるサクシヨンの効果が，実物大相当の水圧が作用した状態においても得られることを確認するために遠心場での動的載荷実験を行った．また，サクシヨン効果に寄与すると考えられる以下の要因について，条件を変えた実験を行いその影響の検討・分析を行った．

- 支持地盤種別 ： 不透水性／透水性
- 水 深 ： 0～20m：遠心場（＝ 0～400mm：重力場）
- 止 水 構 造 ： 基礎の根入れ／止水ゴム／止水スカート
- 載 荷 方 法 ： 載荷速度／載荷振幅／繰り返し載荷の影響

3.2 実験の内容

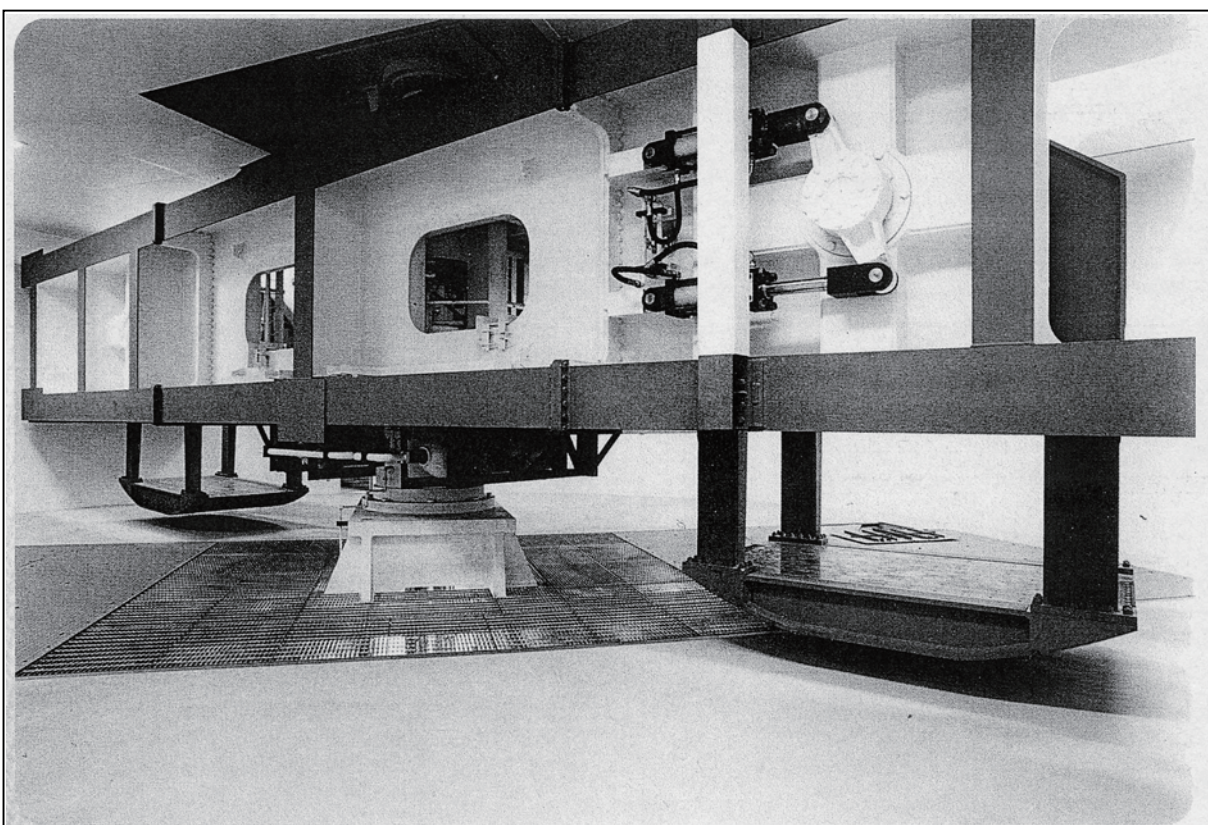
3.2.1 実験装置

(1) 実験施設

実験に用いた遠心載荷装置は土木研究所所有の大型動的遠心力載荷試験装置である。その概要と仕様を表-3.1 および次頁の図-3.1 に示す。

表-3.1 大型動的遠心力載荷試験装置の仕様

遠 心 力 載 荷 装 置	有効回転半径	6,600mm
	最大遠心加速度	静的試験：150G 動的試験：100G
	最大積載容量	400 ton・G
	揺動架台	2 台（静的試験は両側で、動的試験は片側で可能）
	容器の載荷スペース	幅 2,400mm×奥行き 1,300mm×高さ 1,000mm
加 振 装 置	台の寸法	幅 1,700mm×奥行き 1,000mm
	最大加振容量	40ton・G
	最大加振加速度	40G
	最大速度	900mm/s
	最大変位	±5mm
	加振周波数	10～400Hz
計 測 機 能	伝送方式	光伝送方式
	測定点数	静的試験：100ch 動的試験：80ch



大型動的遠心力載荷試験装置 Geotechnical Centrifuge

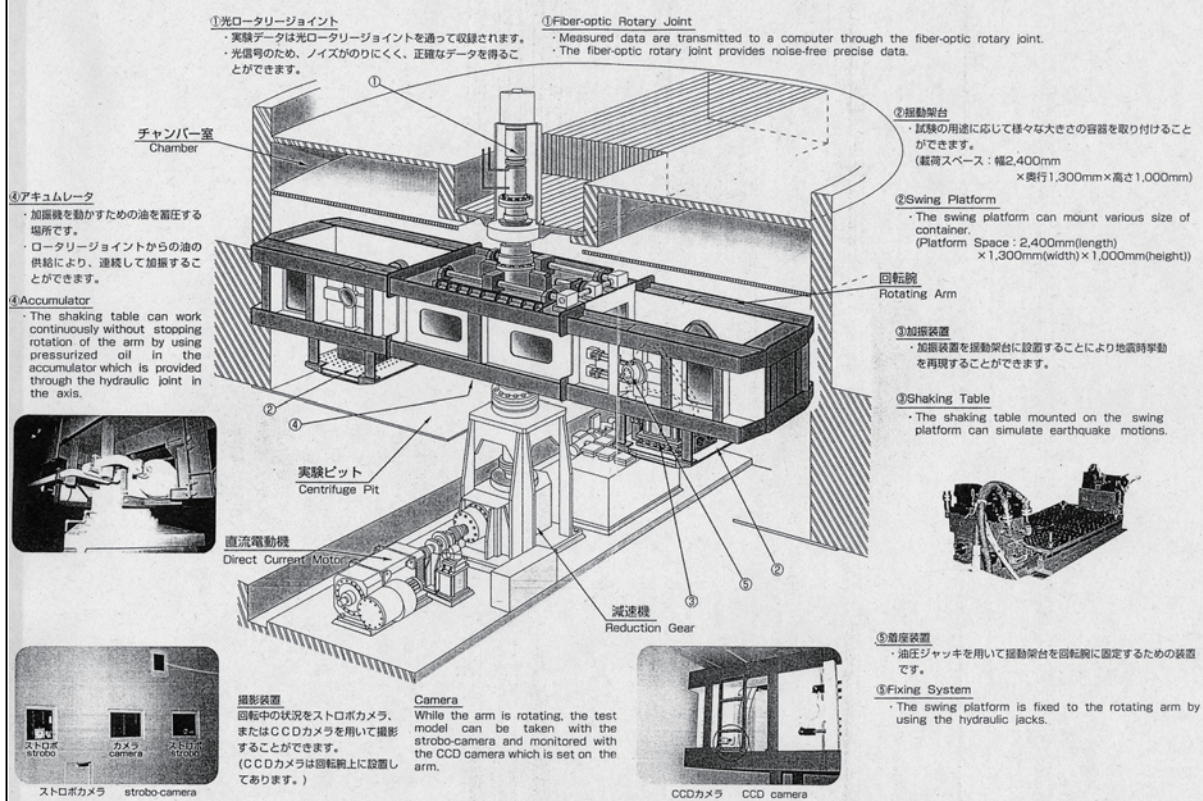


図-3.1 大型動的遠心力載荷試験装置

(2) 基礎模型

i) フーチング模型

フーチング模型の仕様を図-3.2 および写真-3.1, 3.2 に示す。フーチング部分の寸法は、奥行き 200mm×幅 200mm×高さ 50mm で材質は鋼製である。また、橋梁であれば橋脚部にあたるフーチング上のアーム部分は、厚さ 6mm の鋼板を用い、動水圧の影響を減じるためフーチング両側面に上部空間を確保するように設置し、フーチングと載荷装置を繋いでいる。フーチング底面から載荷位置までの高さは 555mm である。

フーチングに変位を与えるための載荷装置は、アーム部の 2 枚の鋼板を頂部で角形鋼管 (50cm×50cm, 厚さ 6mm) により一体にし、ヒンジ構造となる連結部品を介して連結されている。

フーチング底面には間隙水圧計設置用の孔 ($\phi=7\text{mm}$) が 19 ヶ所空けられており、上面より測定コードを取り出すような仕組みになっている。

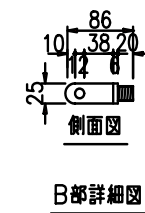
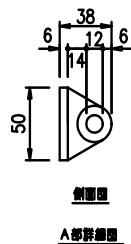
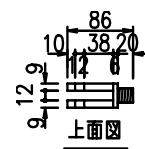
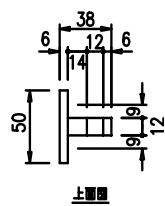
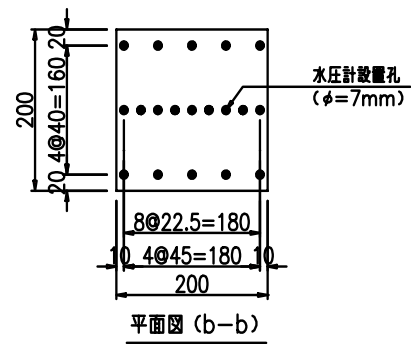
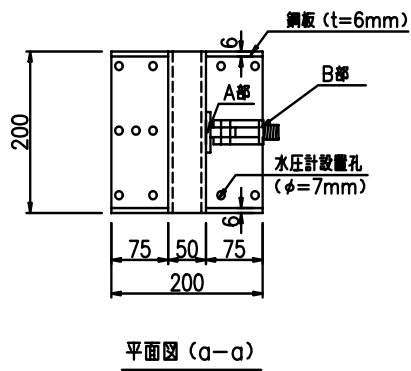
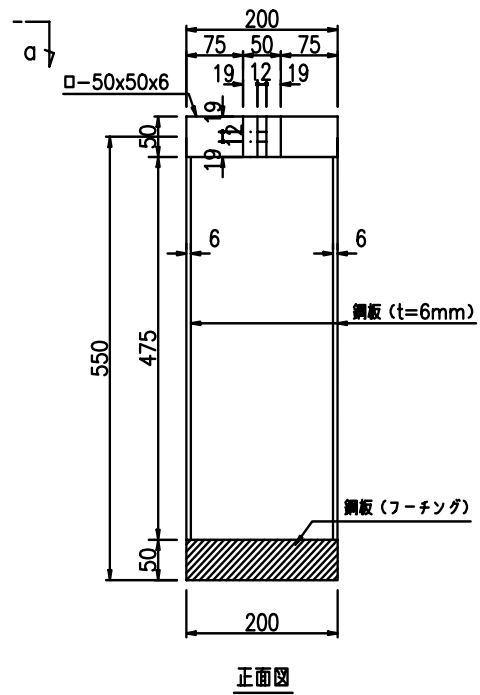
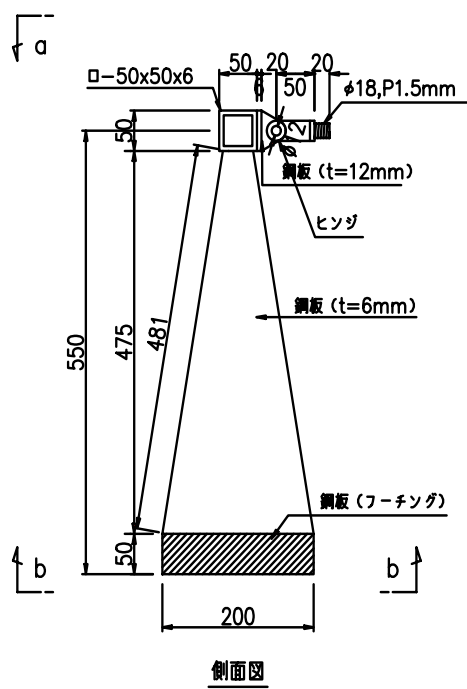
なお、計測器や鋼板等も含めたフーチングの全重量は $m=27.215\text{kg}$ であった。

ii) 止水構造

パラメータの一つである止水構造の有無が、サクシオン効果に及ぼす影響について調べるため、不透水性地盤用と透水性地盤用の 2 種類の止水構造を選定した。不透水性地盤用の止水構造は、厚さ 5mm のゴムを用い、基礎が浮き上がった際にフーチング底面に生じる隙間に水が入らないようにフーチング側面に取り付け接合部にシリコンを厚くコーキングした (写真-3.3, 3.4)。

一方、透水性地盤に対しては、重量の影響が少なく、かつ適度の剛度を有し、揺動時も簡単に変形しない部材として厚さ 1.2mm の鋼板を止水鋼板として用いた。4 枚の鋼板の端部を井筒型に溶接し、接合部をエポキシ系接着剤でコーティングした。根入れ長は 50mm とし、その長さがフーチング下面から突出するようにフーチング側面にボルト固定して、さらに鋼板上端とフーチング上端部をエポキシ系接着剤でコーティングした。止水鋼板の重量は 0.750kg である (写真-3.5, 3.6)。

これらの止水構造を基礎に取り付けることにより、透水性地盤において載荷揺動時に地盤内に生じる浸透流を除いては、周辺地盤から止水鋼板内部へ水が流入・流出することは不可能である。



A部詳細図

B部詳細図

図-3.2 フーチング模型 一般図



写真-3-1 フーチング模型（全景）

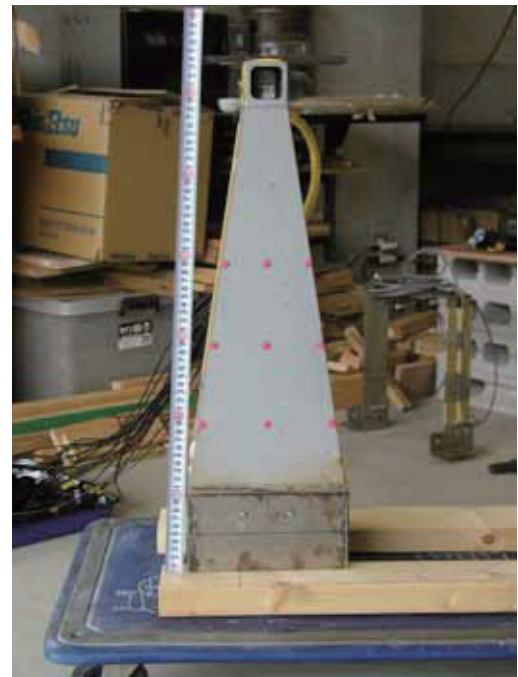


写真-3.2 フーチング模型（側面）

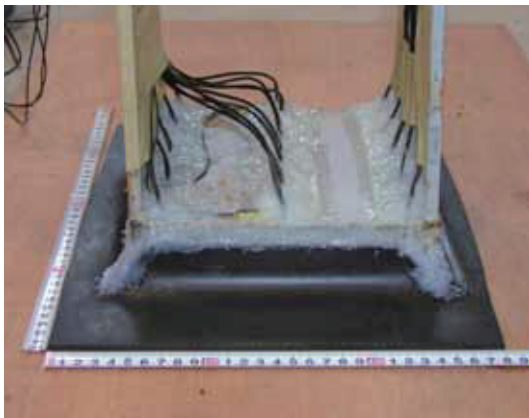


写真-3.3 止水構造（ゴム：上面）

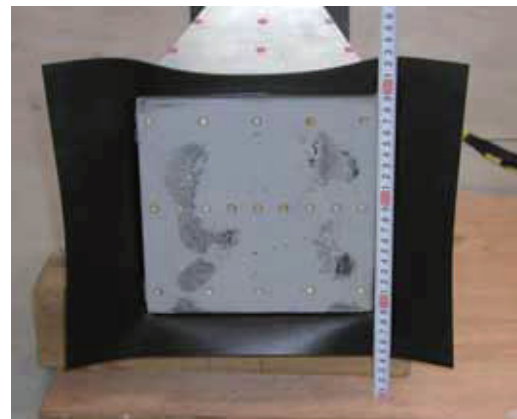


写真-3.4 止水構造（ゴム：底面）



写真-3.5 止水構造（止水鋼板：側面）



写真-3.6 止水構造（止水鋼板：底面）

(3) 実験地盤

i) 地盤の作製

不透水性地盤は、硬度 60～65 の合成ゴムで代用した。このゴム板の厚さは 20mm で下位には鋼製の不陸調整台を設置した（図-3.3）。不陸調整台は実験土槽底版に点溶接で固定し、ゴム板と不陸調整台はボルトにより固定した。載荷時におけるフーチングの滑動に対しては、鋼棒ストッパーをフーチング底面前後の不透水層に設置し水平方向にのみ拘束した（写真-3.7）。

基礎が回転・転倒する場合に押し込み側の影響を評価するために地盤反力度の算定が必要となることから、この合成ゴム材料の供試体（直径 50mm, 高さ 100mm）を作製して一軸圧縮試験を行った。図-3.4 に応力-ひずみ関係を示す。ひずみ依存性は見られずヤング係数は $E=3.6\text{MN/m}^2$ であった。

透水性地盤の材料には、江戸崎砂（山砂）を用いた。江戸崎砂の土質工学的特性については、5. および付-1 で詳述する。地盤の作製は最適含水比付近に含水比調整した江戸崎砂を突固め棒にて締固めて行った。地盤作製時の締固め度は、透水性を小さくするために $D=105\%$ を目標とした。この締固め度の時の透水係数は $k_{15}=1.0\times 10^{-4}\text{cm/sec}$ 程度である。

地盤は、所定位置に間隙水圧計を埋設することも考慮した上で、25mm ピッチで作製した。密度管理は一層毎に投入した地盤材料の乾燥重量と、土槽上端からの高さ測定によって得られる各層の厚さによる体積から乾燥密度を求めることで行った。地盤の締固め度はこの乾燥密度の値から算定した。

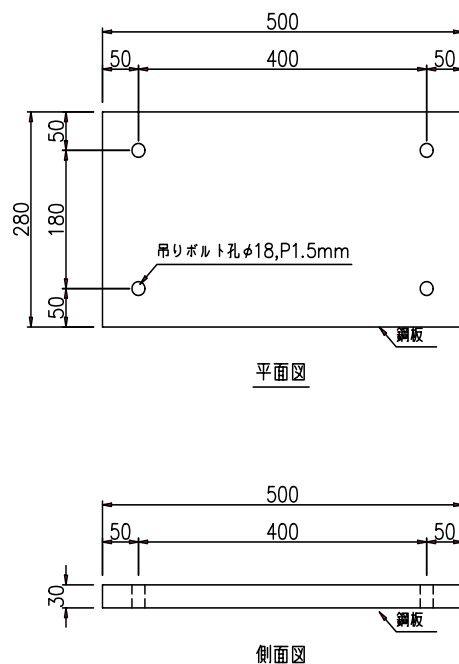


図-3.3 不陸調整台

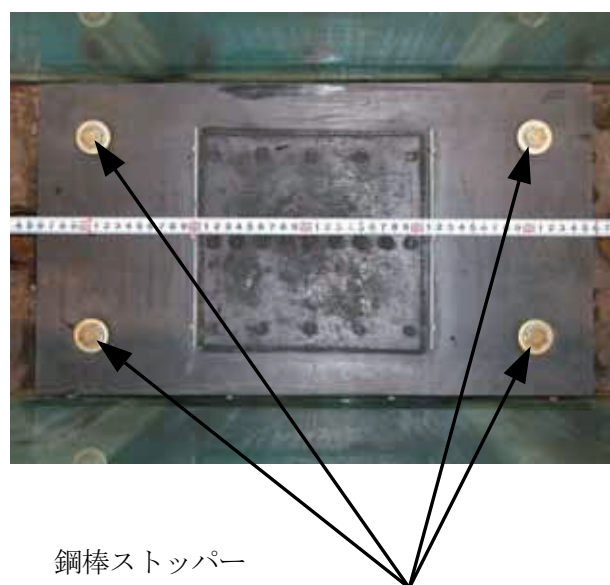


写真-3.7 フーチング滑動防止ストッパー

JIS A 1216	土の一軸圧縮試験(強度・変形特性)	
------------	-------------------	--

調査件名 _____ 試験年月日 _____

試料番号(深さ) _____ 試験者 _____

土質名称	基礎研ゴム	供試体 No.	1	2	3	4
液性限界 W_L %		試料の状態	乱さない			
塑性限界 W_P %		高さ H_0 cm	10.240			
ひずみ速度 %/min	1.0	直径 D_0 cm	5.020			
特記事項		質量 m g	317.47			
		湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.566			
		含水比 W %	0.0			
		一軸圧縮強さ q_u kN/m ²	600.4			
		破壊ひずみ ε_f %	15.00			
		変形係数 E_{50} MN/m ²	3.6			
		鋭敏比 S_t				

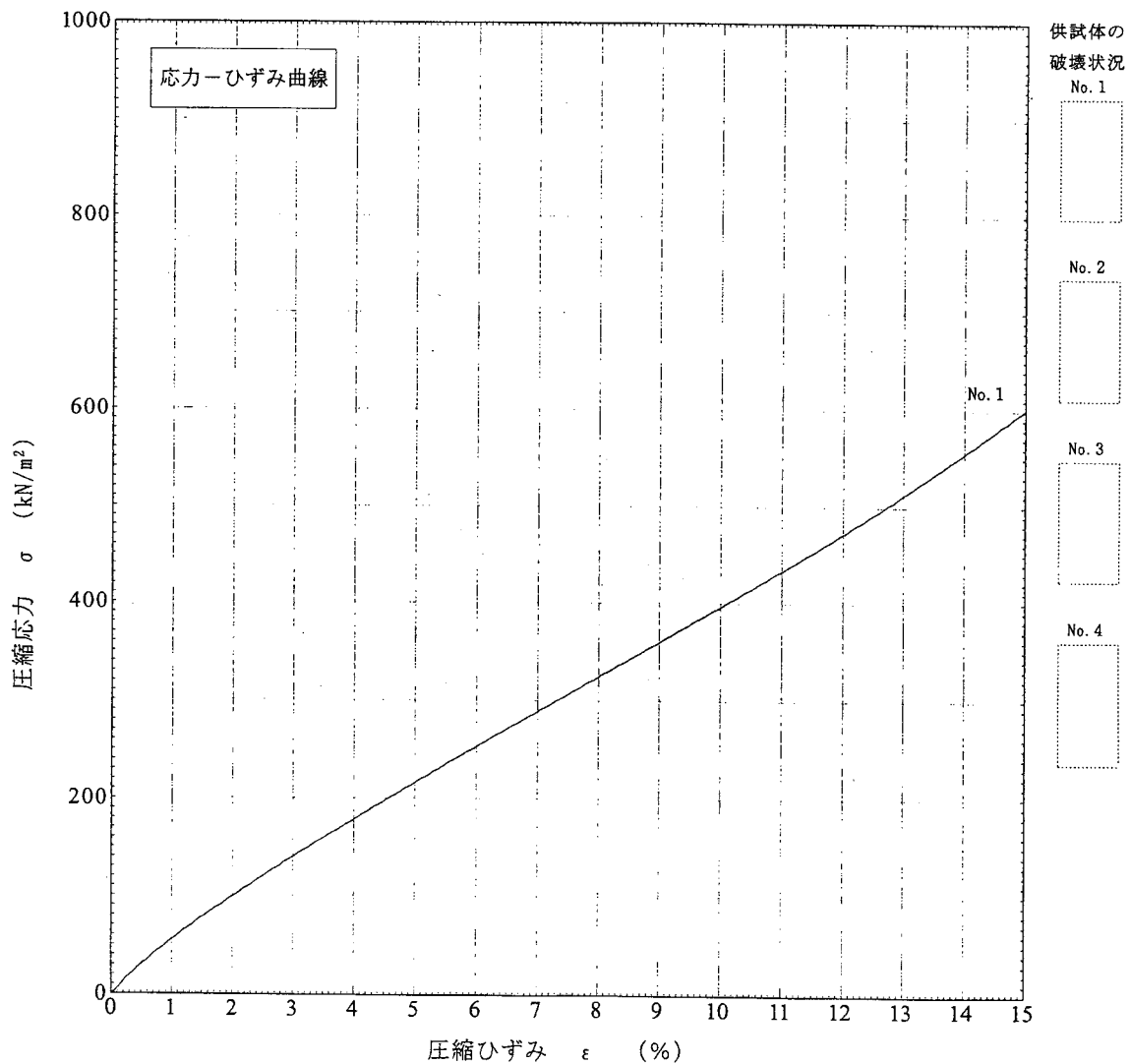


図-3.4 不透水性地盤用ゴム材料の一軸圧縮試験結果

ii) 間隙流体の飽和

実験地盤を作成し、基礎模型を所定の位置に設置した後に、間隙流体を飽和させながら充填した。間隙流体には「メトローズ」(信越化学工業社製：品種 60SH-50)を用いた。試験条件での遠心加速度 50G に合わせて、メトローズの粘度を 50cs に調整した。この時のメトローズ混入量は 1.86%である。

フーチング底面の飽和は負圧法により行った。まず、土槽全体を脱気槽に入れてから真空ポンプで約 98kPa の負圧を与え、実験土槽全体を真空状態にする。負圧法は、この真空状態で実験土槽に注入パイプを通じてメトローズを滴下するだけでメトローズによる飽和が可能である。

不透水性地盤においてフーチング底面に止水構造を設けたケースの飽和は鋼板等を用いて止水ゴムと地盤間にすき間を設けて行った。また、透水性地盤での負圧法による飽和は、真空状態で地盤面にメトローズを滴下する方法で行った。フーチング上面まで水位を上げるために約 12 時間を要した。

3.2.2 載荷方法

(1) 載荷装置の仕様

載荷装置及び油圧源の概要を図-3.5,3.6 および写真-3.8 に示す。フーチングへの載荷は変位制御により行った。

載荷装置は、載荷速度 0～150mm/sec の交番載荷及び一方向載荷が可能で、波形作成ソフトにより様々な種類の波形を入力することができる。耐G構造で、重力場から遠心重力場 100G まで使用可能である。載荷ジャッキ（遠心場急速載荷装置）の制御装置は、大型遠心載荷装置の回転中心軸付近に据え付けられており、制御装置との通信は光 LAN 変換装置を介して実験ピット外の計測室から行う。この LAN ポートは高速度カメラと同じポートを使用しており、スイッチングハブを介して通信が行われる。

油圧源は実験ピット外に設置されており、載荷装置との油圧源との接続は大型遠心載荷装置のロータリージョイント油圧ポートを使用した。この油圧源は実験開始前に予め油温が 25～30℃まで暖気運転する必要がある。

なお、平成 16 年度の実験では、実験施設の供給電源の制約より油圧源起動時にブレーカの遮断が何度か生じたため、平成 17 年度の実験では油圧源の能力を若干落として電源が切れないレベルに保ち、代わりに回転腕バケット内の実験土槽脇にアキュムレータを取り付けて油圧を蓄圧して載荷装置に供給した。（写真 3-9 参照）

載荷装置とフーチング模型との接続は、スペーサーである鋼棒とヒンジを介して行った。接続時は、フーチング及びスペーサーの水平性を確認しながら慎重に行い、スペーサーに取り付けられたロードセルの出力が出ないようにした。

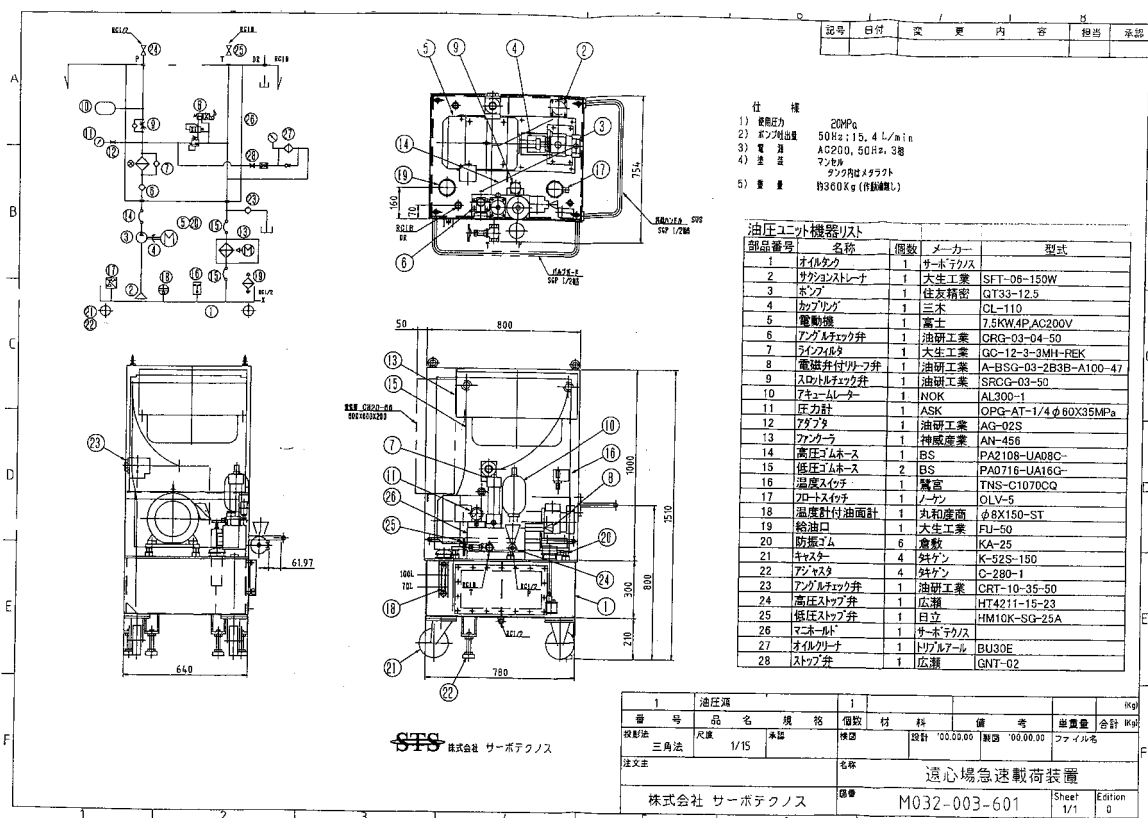
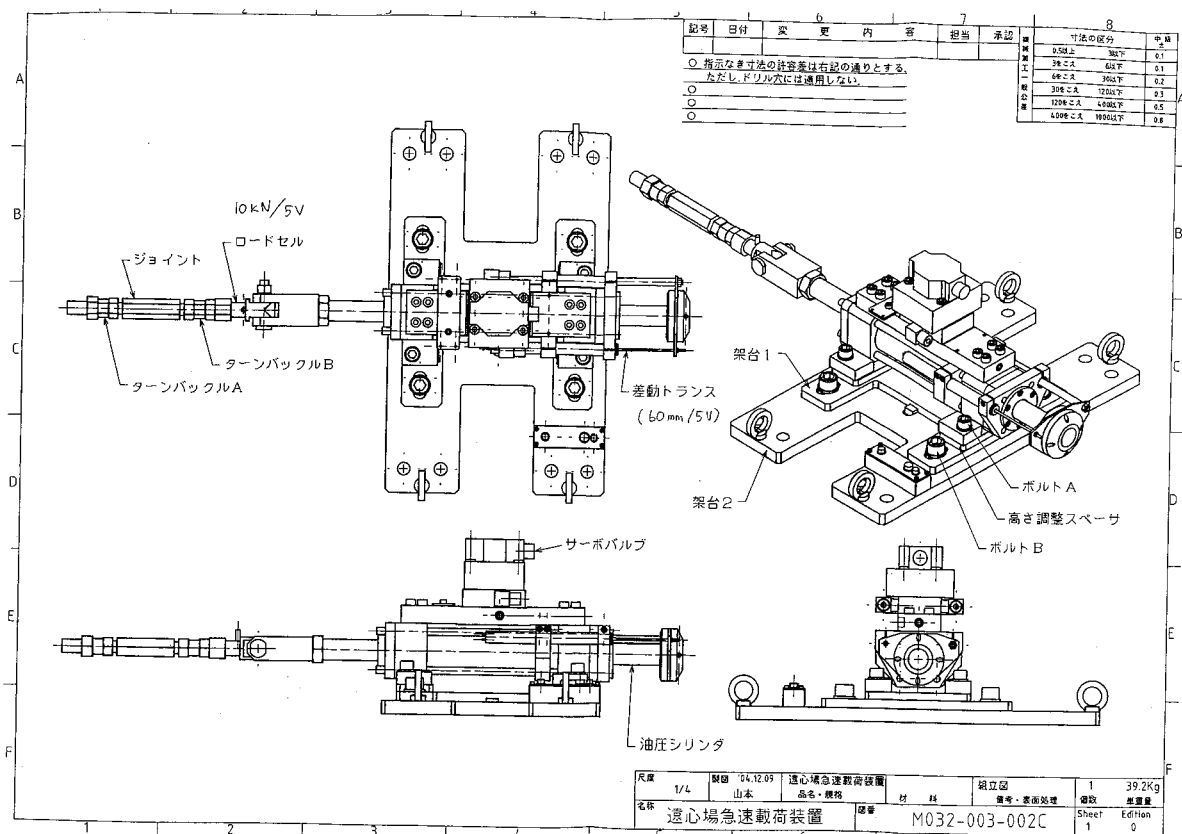
なお、載荷装置に予め併設されている変位計やロードセルの有効性については、他のロードセルやレーザー変位計を用いた遠心重力場での予備実験でその有効性を検証した。



写真-3.8 遠心場急速載荷装置



写真-3.9 アキュムレータ



(2) 載荷方法

重力場から遠心重力場への移行は、毎分 5G の割合で上昇させ、遠心加速度が所定の 50G に達した後、測定変位や過剰間隙水圧が定常状態になっていることをモニターで確認してから載荷実験を開始した。

基礎模型への載荷は、制御室での載荷ジャッキの遠隔操作により行われる。今回の実験で入力した水平変位の時刻歴は、表-3.2 および図-3.7 に示すように一方向載荷が 3 タイプ、繰返し載荷が sin 波の 6 タイプである、表-3.2 には、サンプリング周波数と収録時間を併記した。

次の載荷ステップへの移行時には、各計測器の初期値を計測（ゼロバランス）した。データ計測と高速度カメラによる画像収録は、全ケースで行った入力波形 I のステップで行った。収録はマニュアルトリガーとした。

sin 波の入力波形は、主要動 20 波の後に同じ周波数のエンベロープを付け足している。

表-3.2 入力した水平変位の種類とサンプリングタイム

波形 Type	載荷方向	載荷速度		載荷変位		周波数 (Hz)	サンプリング	
		(mm/sec)	(rad/sec)	(mm)	(rad)		周波数(Hz)	時間(Sec)
A	一方向	110	0.2	16.5	0.0300	1.67	50	20
B		55	0.1	16.5	0.0300	0.83	50	20
C		28	0.05	16.5	0.0300	0.42	50	20
D	繰返し (sin 波)	110	0.2	0.5	0.0009	55.00	2500	20
E		55	0.1	1.5	0.0027	9.17	500	20
F		28	0.05	3.0	0.0055	2.33	100	20
G		18	0.03	0.5	0.0009	9.17	500	20
H		55	0.10	1.5	0.0027	9.17	500	20
I		110	0.20	3.0	0.0055	9.17	500	20

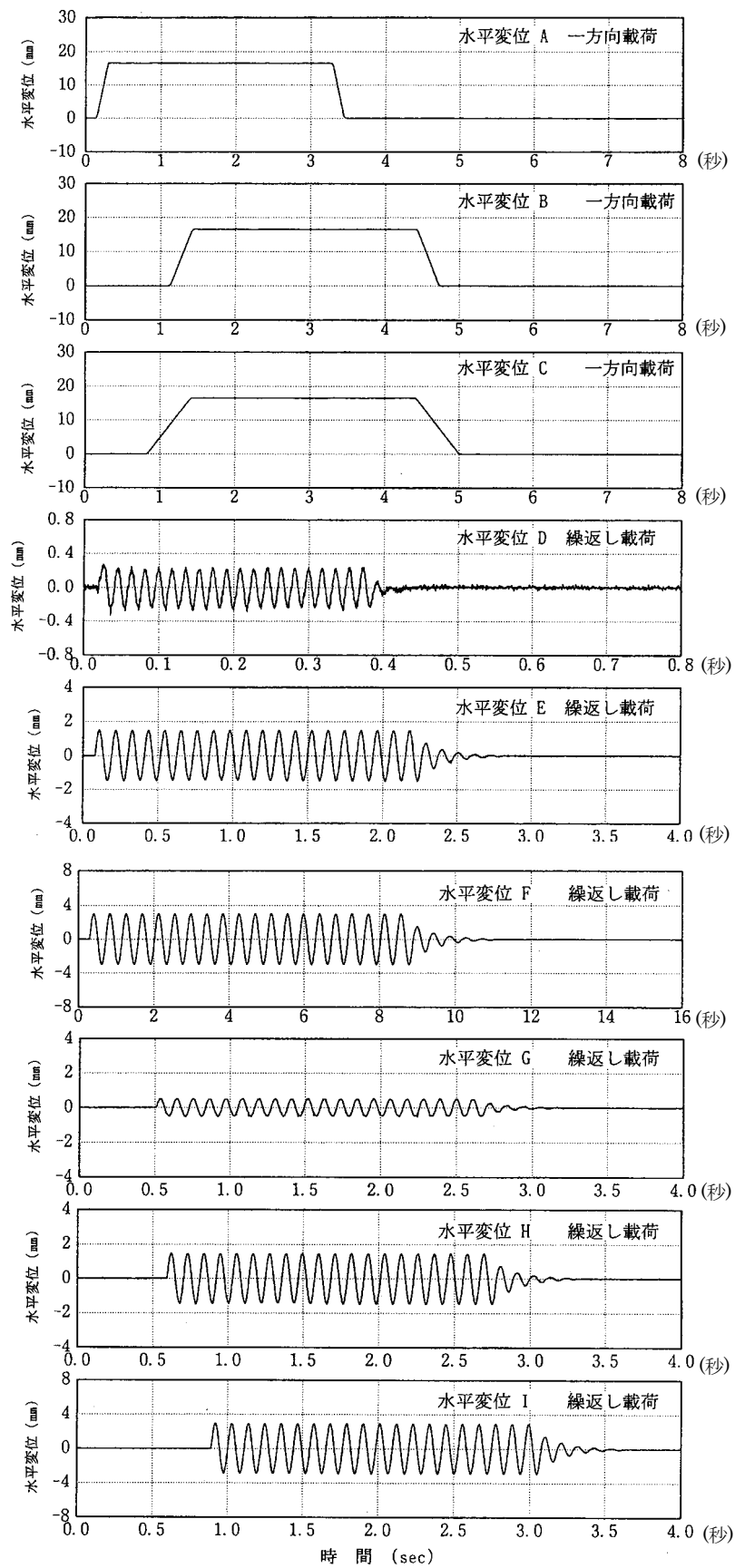


図-3.7 入力波形（水平変位波形）

3.2.3 実験ケース

実験ケースを表-3.3に示す。パラメータは地盤種別、水深、載荷方法、止水構造（止水ゴム／止水スカート）の有無、根入れの有無である。表-3.3は載荷方法を除いた基礎模型および地盤条件について整理した実験ケース一覧表であり、表-3.4は載荷方向および載荷速度を詳細に示した実験ケース&載荷ステップ一覧表であり、それぞれのケースについて各載荷ステップを順次実施した。

なお、静止状態で基礎底面に作用する圧力は、大気圧と水圧と基礎自重の和であり、水深0mmで183kPa、水深100mmで232kPa、水深200mmで281kPa、水深400mmで380kPaとなる。

表-3.3 実験ケース一覧表

実施年度	ケース名	地盤種別	水深／ 遠心場(重力場)	止水構造	根入れ／ 遠心場(重力場)
H16	CASE-1	不透水性地盤 (合成ゴム)	400mm(20m)	なし	---
	CASE-2		200mm(10m)		
	CASE-3		100mm(5m)		
	CASE-4		なし		
	CASE-6	透水性地盤	400mm(20m)	なし	なし
	CASE-7	(江戸崎砂)	400mm(20m)		50mm(2.5m)
	CASE-8	不透水性地盤 (合成ゴム)	400mm(20m)	止水ゴム	---
	CASE-9		200mm(10m)		
	CASE-10		100mm(5m)		
H17	CASE-11	透水性地盤 (江戸崎砂)	200mm(10m)	なし	なし
	CASE-12		200mm(10m)		50mm(2.5m)
	CASE-13		200mm(10m)	止水スカート	なし
	CASE-14		200mm(10m)		50mm(2.5m)

*H16-CASE5 は実験中にフーチング内の計器取付け部が破損して実験中止となり欠番とした。

表-3.4 実験ケースおよび载荷ステップ一覧表

◆不透水性地盤＜合成ゴム＞における実験ケース（遠心加速度：50G）

CASE	根入れ (mm)	止水 構造	水深 (mm)	載荷条件							
				載荷 ステップ°	入力波 Type	載荷 方式	載荷速度		変位 (mm)	周波数(Hz)	
							(mm/sec)	(rad/sec)		遠心場	重力場
1～4	---	なし	0/100/ 200/ 400	1	A	一方向	110	0.2	16.5	1.67	0.03
				2	B		55	0.1	16.5	0.83	0.02
				3	C		28	0.05	16.5	0.42	0.01
				4	D	繰返し	110	0.2	0.5	55.00	1.10
				5	E		55	0.1	1.5	9.17	0.18
				6	F		28	0.05	3.0	2.33	0.05
				7	G		18	0.03	0.5	9.17	0.18
				8	H		55	0.1	1.5	9.17	0.18
				9	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
8～10	---	止水 ゴム	100/ 200/ 400	1	A	一方向	110	0.2	16.5	1.67	0.03
				2	B		55	0.1	16.5	0.83	0.02
				3	C		28	0.05	16.5	0.42	0.01
				4	D	繰返し	110	0.2	0.5	55.00	1.10
				5	E		55	0.1	1.5	9.17	0.18
				6	F		28	0.05	3.0	2.33	0.05
				7	G		18	0.03	0.5	9.17	0.18
				8	H		55	0.1	1.5	9.17	0.18
				9	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18

◆透水性地盤＜江戸崎砂：D=105%＞における実験ケース（遠心加速度：50G）

CASE	根入れ (mm)	止水 構造	水深 (mm)	載荷条件							
				載荷 ステップ°	入力波 Type	載荷 方式	載荷速度		変位	周波数(Hz)	
							(mm/sec)	(rad/sec)	(mm)	遠心場	重力場
6, 7, 11, 12	0/50	なし	200/ 400	1	I	繰返し	110	0.2	3.0	9.17	0.18
				2	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				3	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				4	A	一方向	110	0.2	16.5	1.67	0.03
				5	I	繰返し	110	0.2	3.0	9.17	0.18
				6	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				7	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				(8)*	(I/A)		110	0.2	16.5/3	9.17	0.18
13, 14	0/50	止水 スカート	200	1	I	繰返し	110	0.2	3.0	9.17	0.18
				2	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				3	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				4	A	一方向	110	0.2	16.5	1.67	0.03
				5	I	繰返し	110	0.2	3.0	9.17	0.18
				6	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				7	I		110	0.2	3.0	9.17	0.18
				4	A	一方向	110	0.2	16.5	1.67	0.03

*) Case6 のステップ 8 は Type-I 载荷, Case7 はステップ 7 で終了, Case11,12 のステップ 8 は Type-A 载荷

3.2.4 測定項目および計器の配置

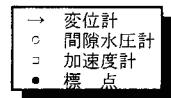
(1)測定項目および計器の配置

各実験ケースにおける計測器及び標点位置を図-3.8～15 に示した．その他，計測器の設置位置と数量は下表の通りである．

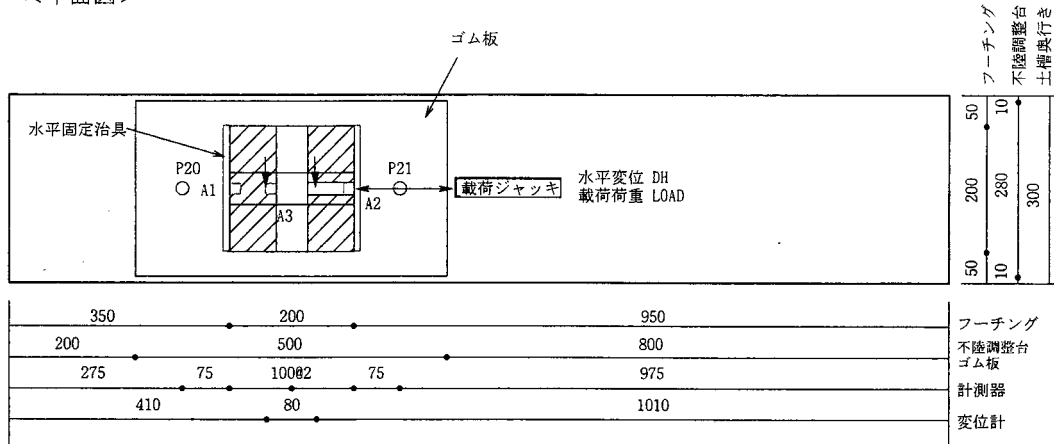
表-3.5 測定項目と数量

計測器	設置位置	試験条件とケース		符号	備 考 (計測器呼称)
		不透水性地盤	透水性地盤		
変位計	フーチング (鉛直)	2	2	下向き正	DV1, DV2
	フーチング (水平)	1	1	押し方向正	DH
加速度計	フーチング	3	3	押し方向正	AV1,AV2,AH
荷重計	フーチング	1	1		LOAD
間隙水圧計	フーチング底面	19	19		P1～P19
	地盤	2	4～6 ^{*1)}		P20～P25
標点	フーチング	一式	一式	---	---

*1) 間隙流体を用いないケースでは 0 個となる

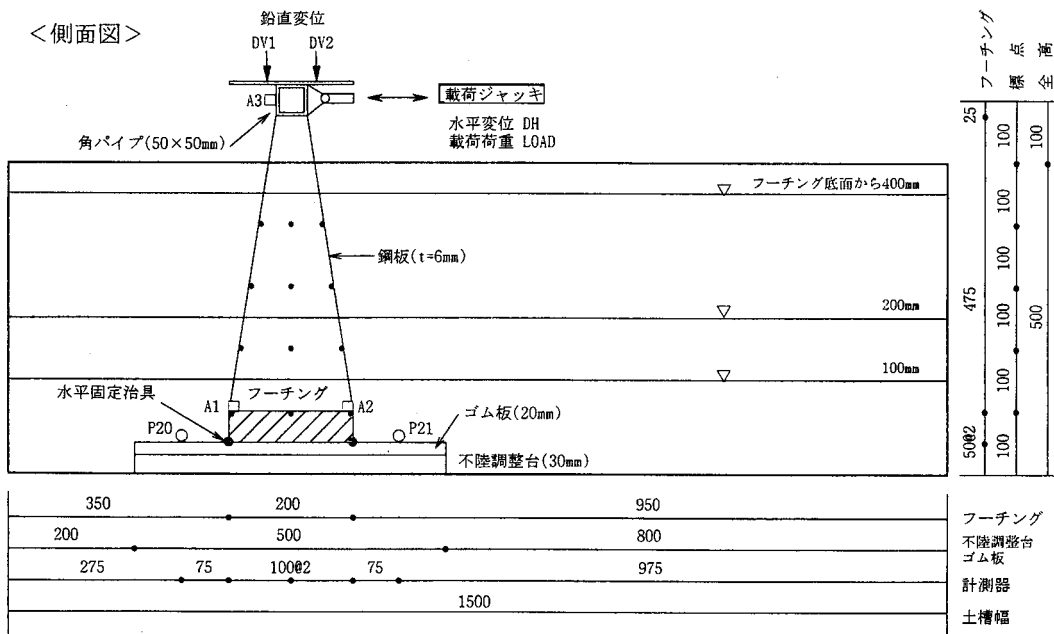


<平面図>



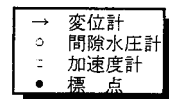
縮尺：1/10
単位：mm

<側面図>

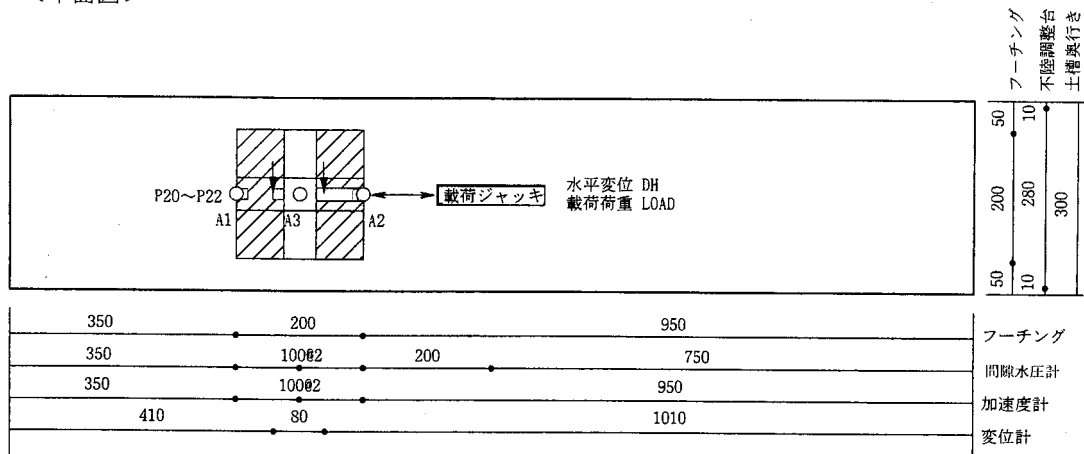


注記)・DV1とDV2間の距離：80mm。
・フーチング底面から载荷位置までの距離：555mm

図-3.8 計測器および標点メッシュ位置図 (CASE1~3, 8~10)

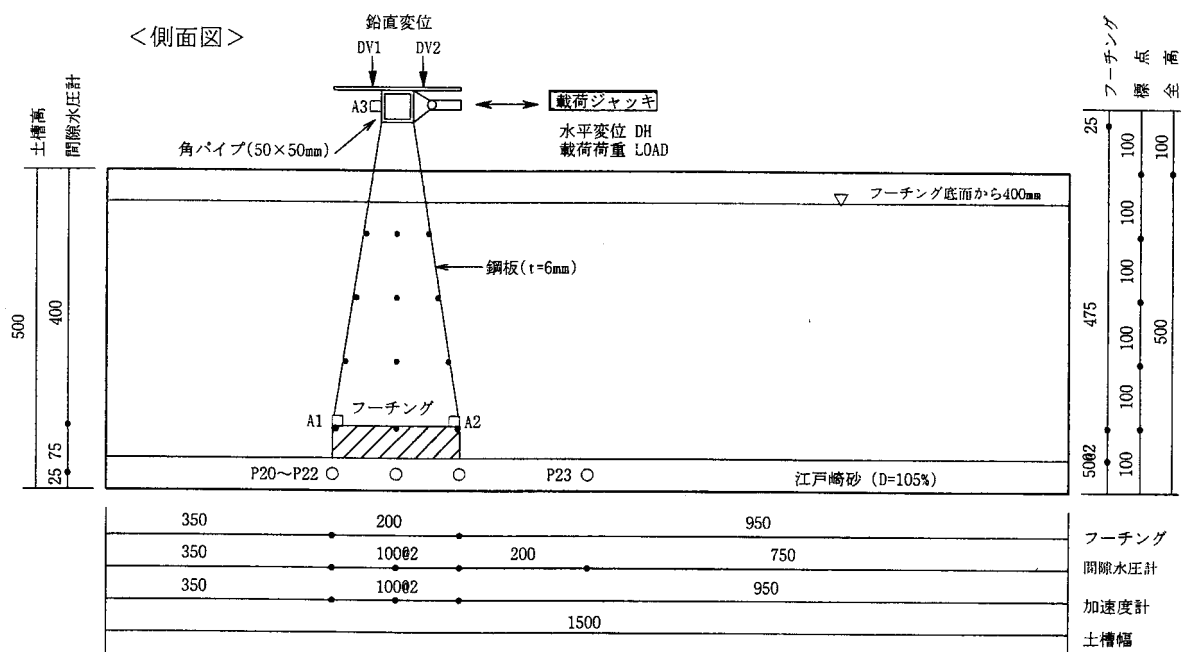


<平面図>



縮尺: 1/10
単位: mm

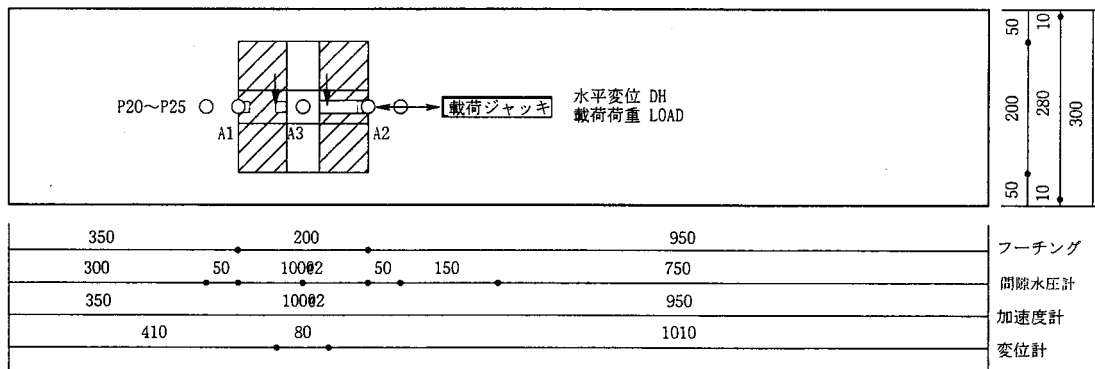
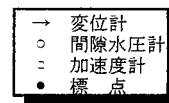
<側面図>



注記)・DV1とDV2間の距離: 80mm。
・フーチング底面から載荷位置までの距離: 555mm

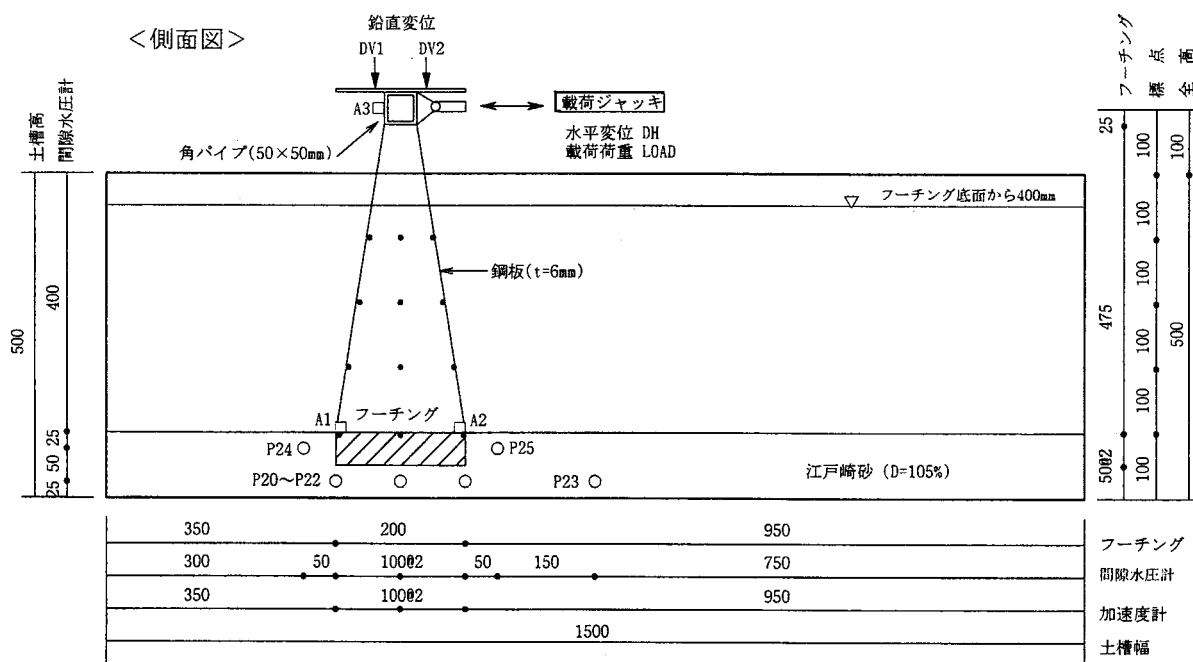
図-3.9 計測器および標点メッシュ位置図 (CASE6)

<平面図>



縮尺：1/10
単位：mm

<側面図>



注記)・DV1とDV2間の距離：80mm。
・フーチング底面から載荷位置までの距離：555mm

図-3.10 計測器および標点メッシュ位置図 (CASE7)

Diagram illustrating the test specimen and its dimensions (mm):

- Specimen: P20~P22
- Dimensions: 350 (width), 350 (height), 200 (distance between center holes), 100 (distance from center hole to edge), 50 (distance from corner hole to edge).
- Labels: A1, A2, A3, A4 (support points), 荷重ジャッキ (Load Jack), 水平変位 DH (Horizontal Displacement), 荷重荷重 LOAD (Load).

フーチング底面からの
載荷位置までの距離

555

縮尺: 1/10
単位: mm

<側面図>

鉛直変位
DV1 DV2

角パイプ(50×50mm)

A3

載荷ジャッキ

水平変位 DH
載荷荷重 LOAD

鋼板 (t=6mm)

フーチング

A1 A2

フーチング底面から200mm (CASE3)

江戸崎砂 (D=105%)

P23 P24 P25
○ ○ ○

P20 P21 P22
○ ○ ○

350 100 1050

350 100φ2 200 750

350 100φ2 950

1500

フーチング
間隙水圧計
加速度計
土槽幅

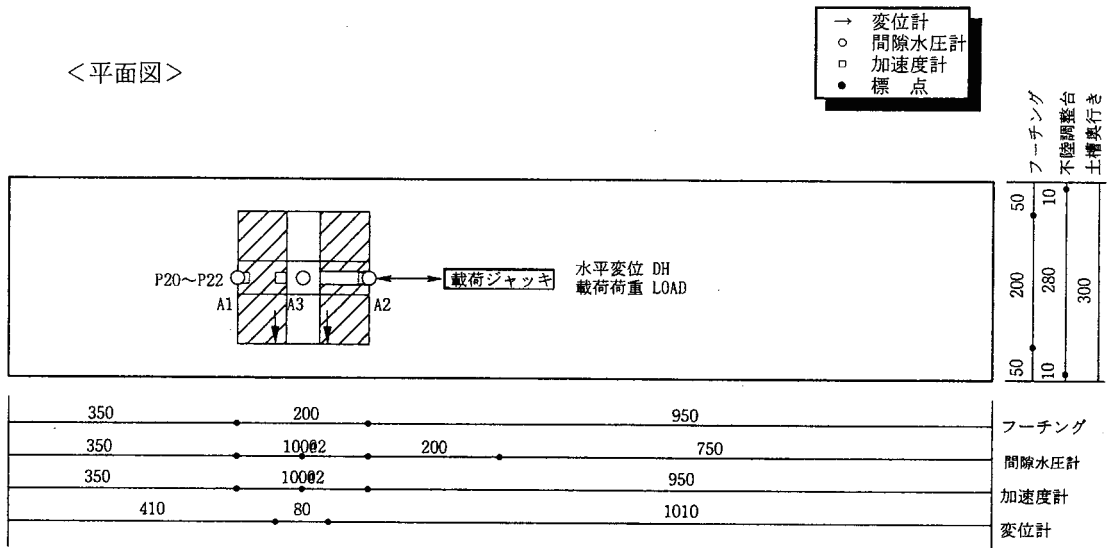
250
300
500

50
100
200

100
100

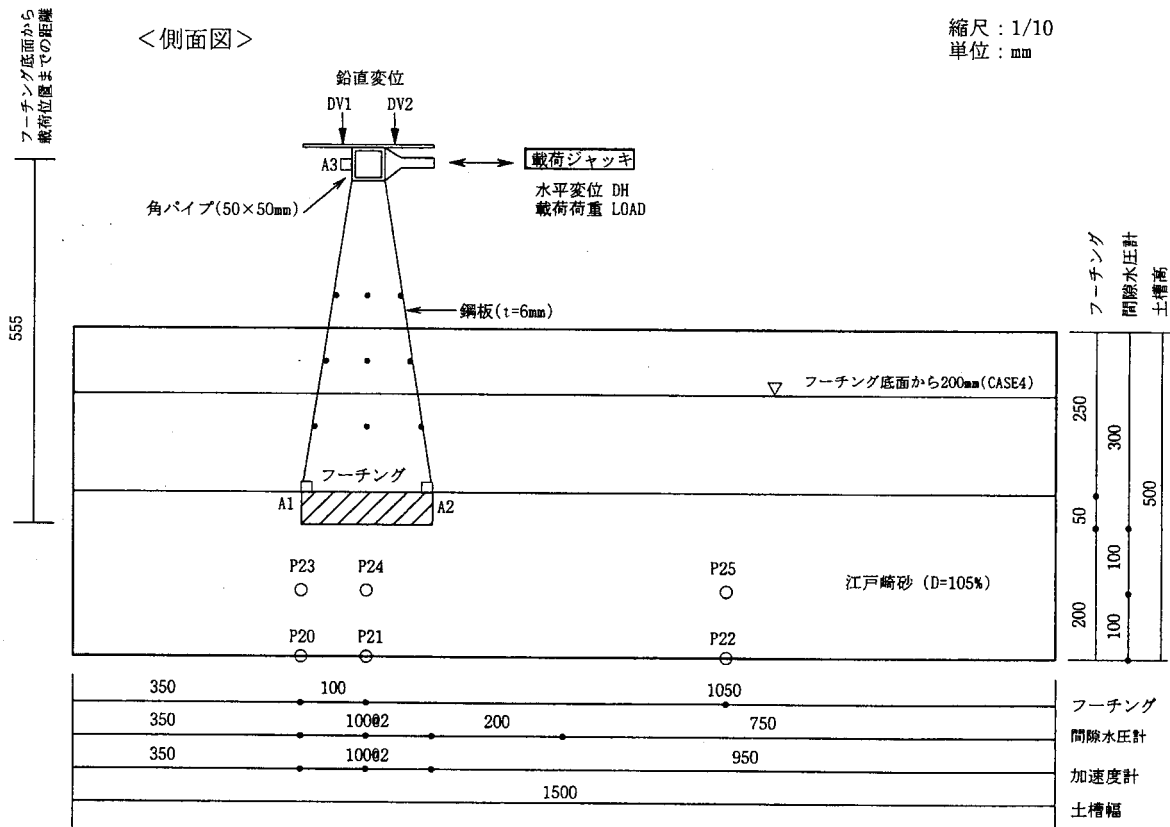
注記)・DV1とDV2間の距離:100mm。
・フーチング底面から載荷位置までの距離:555mm

<平面図>



<側面図>

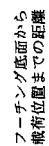
縮尺：1/10
単位：mm



注記)・DV1とDV2間の距離：100mm。
・フーチング底面から載荷位置までの距離：555mm

図-3.12 計測器および標点メッシュ位置図 (CASE12)

- 変位計
- 間隙水圧計
- 加速度計
- 標点



縮尺 : 1/10
単位 : mm

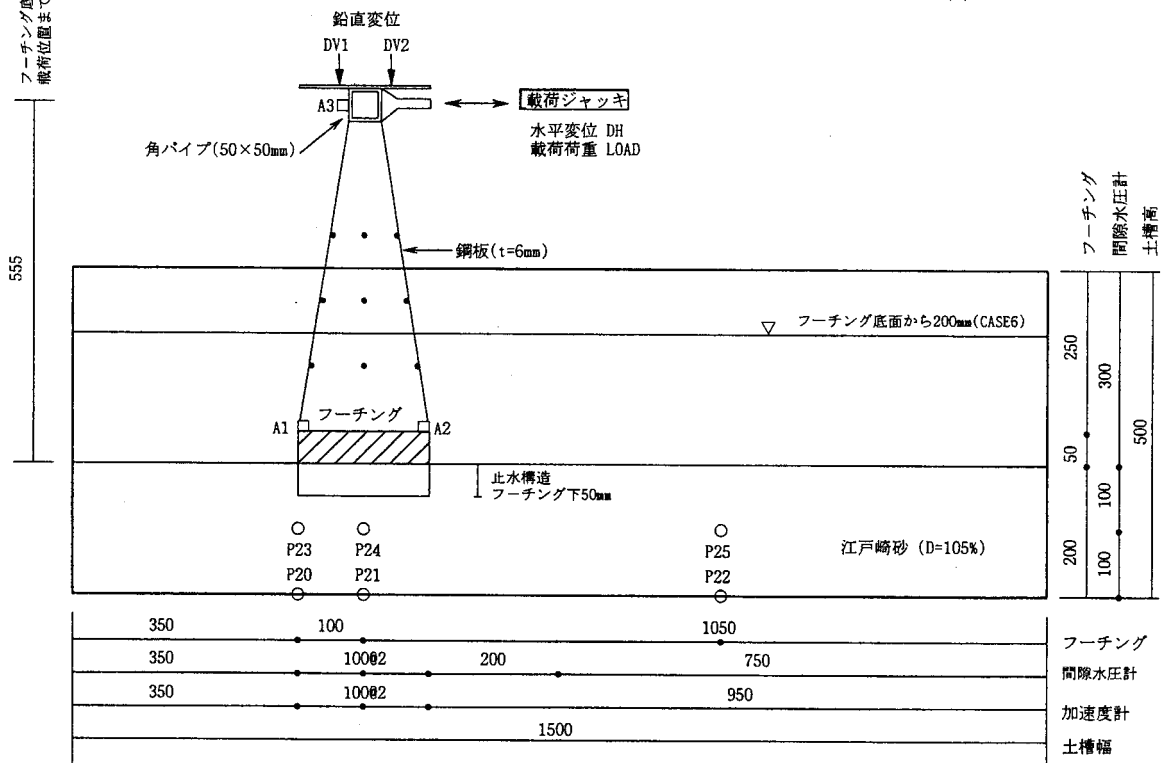
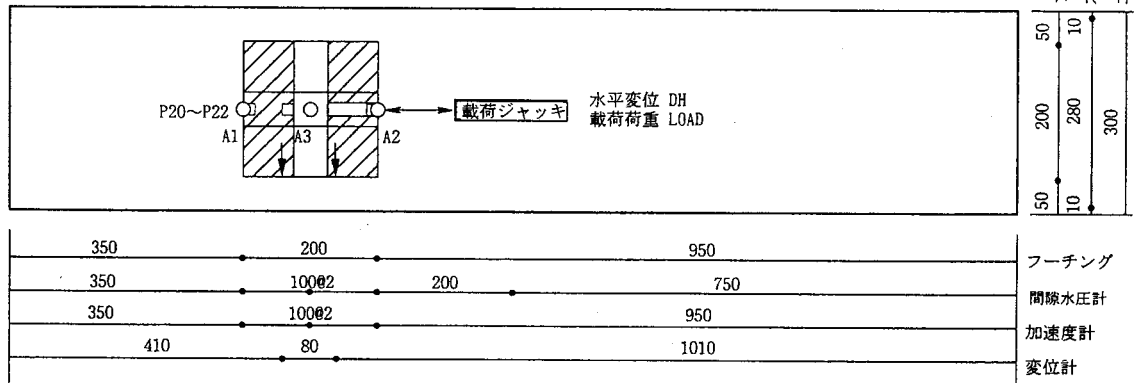


図-3.13 計測器および標点メッシュ位置図 (CASE13)

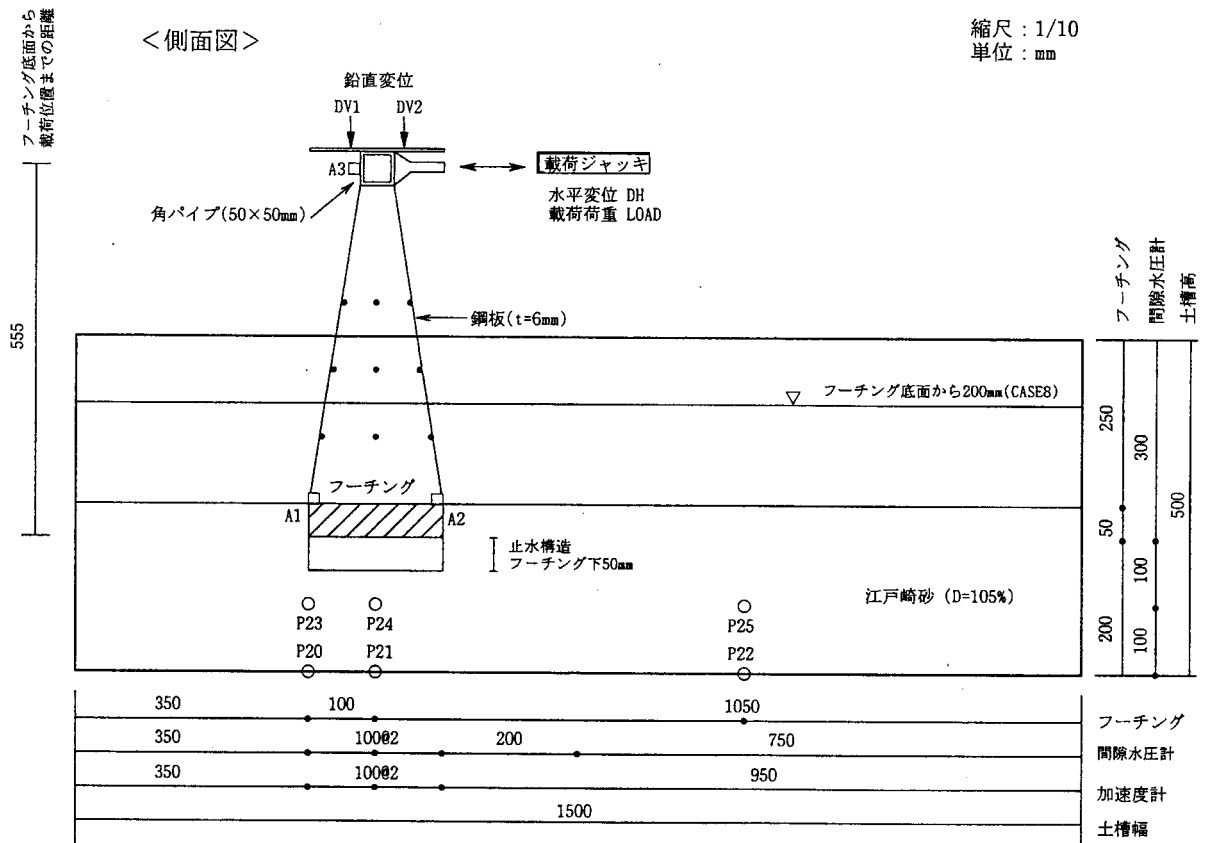
<平面図>

- 変位計
- 間隙水圧計
- 加速度計
- 標点



<側面図>

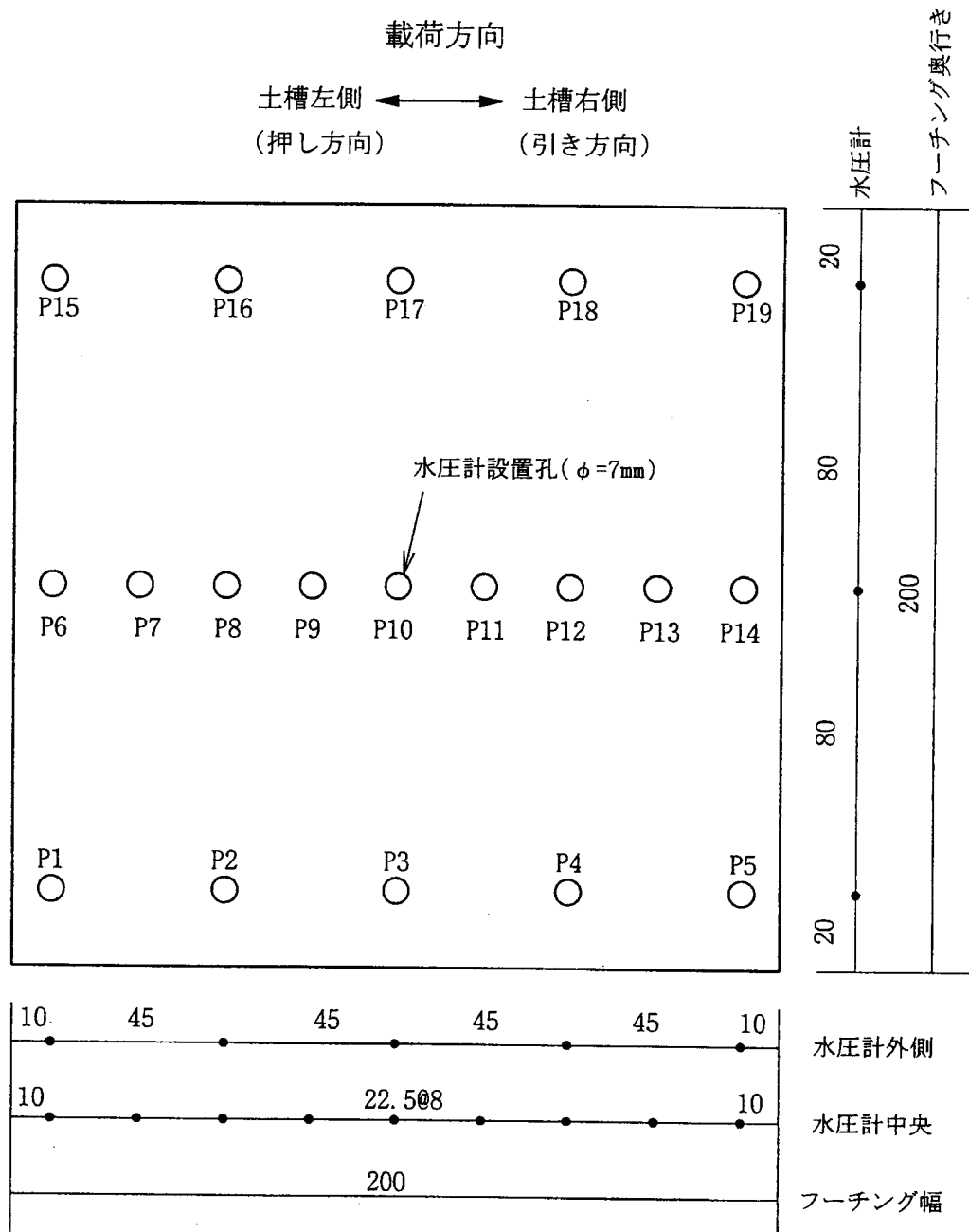
縮尺: 1/10
単位: mm



注記)・DV1とDV2間の距離: 100mm。
・フーチング底面から載荷位置までの距離: 555mm

図-3.14 計測器および標点メッシュ位置図 (CASE14)

<平面図>



- ・ 単位 : mm
- ・ 縮尺 : 1/2

図-3.15 計測器および標点メッシュ位置図

(2)データ収録

遠心加速度を上昇・下降させている間の地盤及びフーチング挙動の確認時には、1.0 秒間隔でデータを収録した。載荷試験時のデータ収録は、表-3.2 に示したように周波数に応じて 50～2500Hz で設定し、収録時間は原則として 20sec とした。

荷重値と水平変位は、ジャッキの位置における荷重計と水平変位計により計測を行った。基礎の回転角は、基礎上部に 2 ヶ所取り付けられている鉛直変位計より算出する。間隙水圧計はフーチング底面の 19 ヶ所で計測を行い、さらに地盤位置にも数個設置して計測を行うが、その配置は実験ケースにより異なっている。

基礎側面には変位観測のための照査点を 9 カ所設け、高速度カメラによる撮影を行った。

3.3 実験結果

3.3.1 最大抵抗モーメントに関する整理

(1) 抵抗モーメントの算定法

フーチングの抵抗モーメントは下式により算出を行った。

$$M = \text{LOAD} \times L$$

{	M	: 抵抗モーメント(kN・m)
	LOAD	: 測定水平荷重 (kN)
	L	: フーチング底面から載荷点までの距離 0.555(m)を乗じる。

また、フーチングの回転角は下式により算出した。鉛直変位計の位置で算出した回転角は、フーチングに滑動や沈下が発生しない場合、測定水平変位をフーチング底面から載荷点までの距離で除した値に等しいと考えられる。

$$\theta = (\text{DV1}-\text{DV2}) / \text{DT} \div \text{DH}/L$$

{	θ	: フーチングの回転角(rad)
	DV1, DV2	: 測定鉛直変位 (mm)
	DH	: 測定水平変位 (mm)
	DT	: 変位計 DV1 と DV2 間の距離 = 80 (mm) <CASE1~10> = 100 (mm)<CASE11~14>

(2) 最大抵抗モーメントと水深の関係

各ケースで実施した载荷波形タイプ I (およびタイプ A) における最大抵抗モーメントに関して、下記の図表にまとめ実験条件の違いによる比較検討を行った。なお、ここで言う“最大抵抗モーメント”とは、载荷一波目にジャッキ・ストロークが伸びる状態の間に記録した抵抗モーメントの最大値を指すものとする。また、不透水性地盤において根入れやスカート止水が有する場合は、サクシジョンの作用位置が底版下面位置もしくはスカート先端位置にシフトするため、水深は水面からサクシジョン作用位置までの距離としている。

図-3.16 各ケース最大抵抗モーメントと水深の関係 (繰返し载荷タイプ I)

図-3.17 各ケース最大抵抗モーメントと水深の関係 (一方向载荷タイプ A)

表-3.6~3.7 最大抵抗モーメント一覧表

繰返し载荷 (タイプ I) における最大抵抗モーメントと水深の関係についての傾向を整理する。不透水性地盤については、止水構造 (= 止水ゴム) 有りでは水深 200mm までは大きな抵抗モーメントを発揮している。ただし、水深 400mm では水深 200mm と同程度の抵抗モーメントとなっている。止水構造なしでは、水深 200mm までは水深 0mm と変わらず、サクシジョン効果が発揮されていない。ただし、水深 400mm になると急に大きくなり、止水構造有りと同程度の抵抗モーメントを発揮している。過去に実施した重力場での実験と同様に、ゴム地盤上で止水構造がない場合には水の流入が多くサクシジョンの効果が小さいが、止水構造を設けると負の間隙水圧が大きく発生していることが推察される。

透水性地盤では、根入れなしの場合には水深 400mm で不透水性地盤での水深 0mm と同程度であり、サクシジョンの効果は非常に小さかった。ただし、全体的に不透水性地盤より低めの値ではあるが、水深に応じて抵抗モーメントが増加することがわかる。一方、根入れやスカート有りの場合には、不透水性地盤の結果とほぼ同じレベルの効果まで得られていることから、砂地盤におけるサクシジョン効果を増加させる有効な手段であることが確認できた。

今回の実験では、透水性地盤といってもかなり密に締固めており、透水性は小さい。サクシジョンの効果が期待できるかどうかは、地盤の透水性や均一性、基礎の根入れ深さや変位速度などによって異なると考えられるため、今後定量的な評価を行っていくためには必要がある。

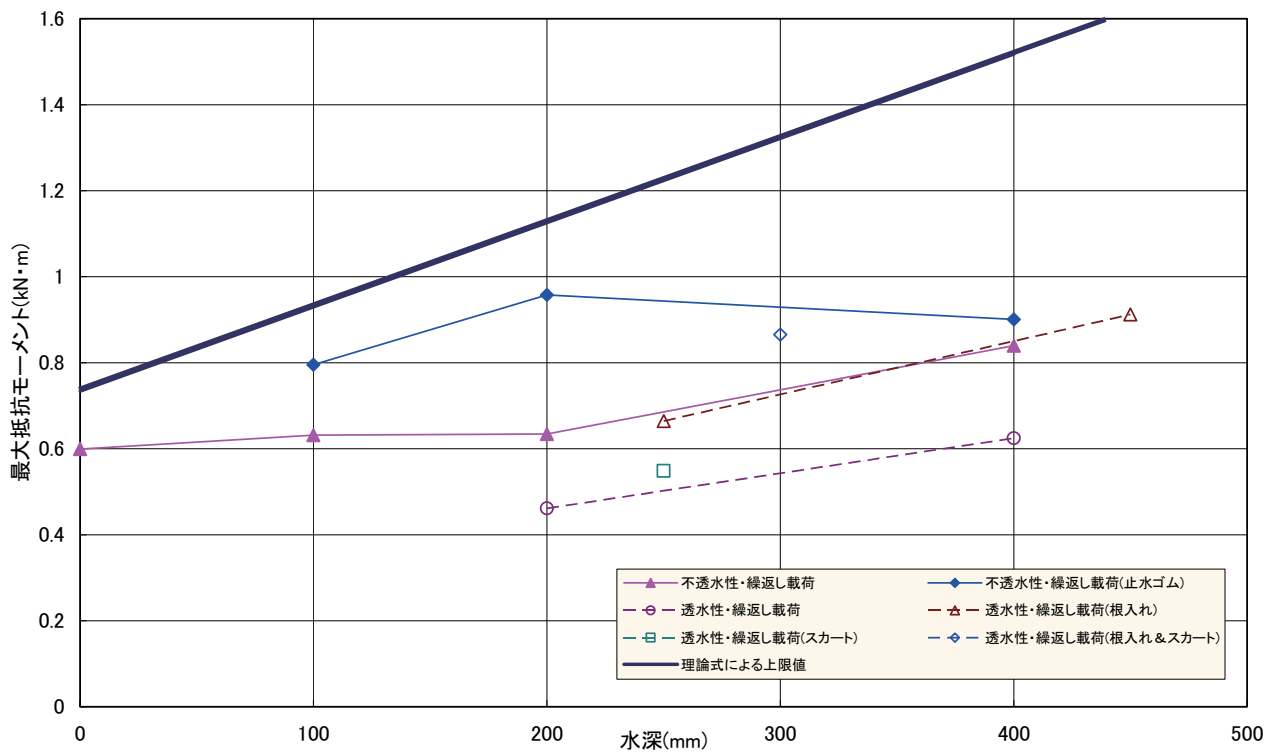


図-3.16 各ケース最大抵抗モーメントと水深の関係（繰返し載荷タイプ I）

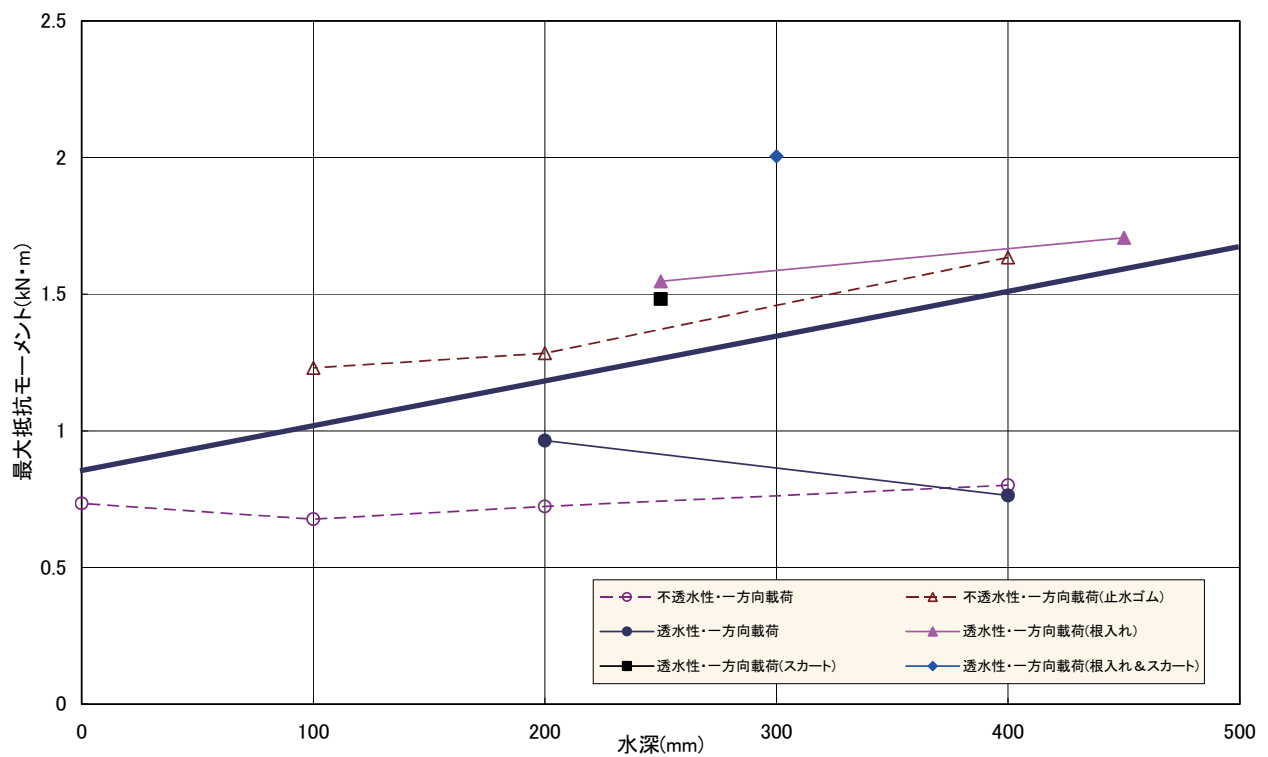


図-3.17 各ケース最大抵抗モーメントと水深の関係（一方向載荷タイプ A）

表-3.6 最大抵抗モーメント一覧表（不透水性地盤）

ケース	STEP	鉛直変位 DV1 (mm)	鉛直変位 DV2 (mm)	水平変位 DH (mm)	最大水平 荷重 (N)	回転角 θ (rad)	最大抵抗モー メント (kN・m)
CASE1	1	0.052	-0.111	1.639	1444.2	2.040E-03	8.015E-01
	2	0.089	-0.133	1.558	1314.3	2.770E-03	7.294E-01
	3	0.000	-2.317	16.019	1349.6	2.623E-02	7.490E-01
	4	0.007	-0.010	0.184	257.7	2.238E-04	1.430E-01
	5	0.084	-0.096	1.315	1402.4	2.260E-03	7.783E-01
	6	0.090	-0.122	1.516	1268.5	2.650E-03	7.040E-01
	7	0.038	-0.036	0.477	632.6	9.263E-04	3.511E-01
	8	0.073	-0.085	1.151	1319.1	1.970E-03	7.321E-01
	9	0.096	-0.141	1.765	1513.1	2.970E-03	8.398E-01
CASE2	1	0.224	-0.490	6.190	1303.3	8.940E-03	7.233E-01
	2	0.064	-1.723	14.181	1324.5	2.233E-02	7.351E-01
	3	0.112	-1.716	14.378	1362.0	2.285E-02	7.559E-01
	4	0.012	-0.012	0.276	260.8	3.044E-04	1.447E-01
	5	0.075	-0.091	1.304	1006.1	2.070E-03	5.584E-01
	6	0.148	-0.194	2.727	1045.5	4.270E-03	5.803E-01
	7	0.030	-0.030	0.487	435.8	7.557E-04	2.419E-01
	8	0.076	-0.087	1.255	886.0	2.040E-03	4.917E-01
	9	0.126	-0.155	2.284	1143.2	3.520E-03	6.345E-01
CASE3	1	0.228	-0.718	8.560	1219.3	1.183E-02	6.767E-01
	2	-0.047	-2.103	16.074	1357.2	2.570E-02	7.533E-01
	3	0.203	-1.089	11.290	1416.8	1.615E-02	7.863E-01
	4	0.010	-0.007	0.242	261.5	2.109E-04	1.452E-01
	5	0.074	-0.089	1.381	802.2	2.040E-03	4.452E-01
	6	0.137	-0.194	2.739	1072.4	4.150E-03	5.952E-01
	7	0.023	-0.029	0.405	469.0	6.530E-04	2.603E-01
	8	0.072	-0.087	1.195	837.6	1.990E-03	4.649E-01
	9	0.111	-0.154	2.152	1138.4	3.320E-03	6.318E-01
CASE4	1	0.074	-1.783	14.199	1322.8	2.321E-02	7.342E-01
	2	-0.005	-2.007	16.519	1438.0	2.502E-02	7.981E-01
	3	0.055	-1.959	16.373	1546.8	2.517E-02	8.585E-01
	4	0.017	-0.010	0.285	282.1	3.356E-04	1.565E-01
	5	0.065	-0.079	1.144	870.9	1.800E-03	4.833E-01
	6	0.092	-0.117	1.815	984.6	2.610E-03	5.465E-01
	7	0.030	-0.030	0.459	464.4	7.493E-04	2.578E-01
	8	0.069	-0.075	1.196	936.0	1.790E-03	5.195E-01
	9	0.083	-0.108	1.626	1080.3	2.390E-03	5.996E-01
CASE8	1	0.368	-1.654	14.087	2943.9	2.528E-02	1.634E+00
	2	0.363	-1.871	15.404	2814.7	2.793E-02	1.562E+00
	3	0.300	-1.994	16.051	2519.8	2.867E-02	1.398E+00
	4	0.017	-0.018	0.284	323.4	4.376E-04	1.795E-01
	5	0.095	-0.098	1.270	1156.0	2.400E-03	6.416E-01
	6	0.146	-0.221	2.361	1195.0	4.580E-03	6.632E-01
	7	0.037	-0.035	0.455	467.7	9.095E-04	2.596E-01
	8	0.083	-0.094	1.186	1092.4	2.220E-03	6.063E-01
	9	0.132	-0.201	2.147	1622.9	4.160E-03	9.007E-01
CASE9	1	0.235	-1.995	15.058	2313.7	2.787E-02	1.284E+00
	2	0.298	-2.119	16.538	2500.1	3.021E-02	1.388E+00
	3	0.348	-2.032	16.415	2609.9	2.974E-02	1.448E+00
	4	0.019	-0.016	0.223	330.1	4.395E-04	1.832E-01
	5	0.111	-0.105	1.440	1094.9	2.700E-03	6.077E-01
	6	0.185	-0.229	2.771	1348.3	5.180E-03	7.483E-01
	7	0.035	-0.033	0.533	518.0	8.513E-04	2.875E-01
	8	0.099	-0.095	1.291	1064.3	2.420E-03	5.907E-01
	9	0.174	-0.209	2.566	1725.6	4.790E-03	9.577E-01
CASE10	1	0.161	-2.204	15.802	2216.3	2.956E-02	1.230E+00
	2	0.298	-2.031	15.954	2370.1	2.911E-02	1.315E+00
	3	0.309	-2.091	16.526	2437.4	3.000E-02	1.353E+00
	4	0.009	-0.006	0.249	290.2	1.845E-04	1.611E-01
	5	0.103	-0.074	1.300	1163.6	2.220E-03	6.458E-01
	6	0.238	-0.209	2.943	1290.9	5.600E-03	7.165E-01
	7	0.038	-0.029	0.478	402.2	8.427E-04	2.232E-01
	8	0.113	-0.082	1.415	993.0	2.440E-03	5.511E-01
	9	0.185	-0.199	2.709	1433.500	0.005	7.956E-01

表-3.7 最大抵抗モーメント一覧表 (透水性地盤)

ケース	STEP	鉛直変位 DV1 (mm)	鉛直変位 DV2 (mm)	水平変位 DH (mm)	最大水平 荷重 (N)	回転角 θ (rad)	最大抵抗モー メント (kN・m)
CASE6	1	0.106	-0.322	2.686	1125.5	5.360E-03	6.247E-01
	2	0.048	-0.369	2.716	859.5	5.210E-03	4.770E-01
	3	0.062	-0.382	2.836	873.1	5.550E-03	4.846E-01
	4	-0.009	-1.256	7.752	1376.0	1.559E-02	7.637E-01
	5	0.376	-0.011	2.842	1079.1	4.840E-03	5.989E-01
	6	0.071	-0.329	2.636	743.7	5.000E-03	4.128E-01
	7	0.071	-0.336	2.748	849.5	5.090E-03	4.714E-01
	8	0.071	-0.345	2.776	785.4	5.200E-03	4.359E-01
CASE7	1	0.150	-0.272	2.541	1644.0	5.280E-03	9.124E-01
	2	0.079	-0.356	2.676	1766.4	5.440E-03	9.804E-01
	3	0.080	-0.378	2.819	1844.8	5.710E-03	1.024E+00
	4	-0.468	-3.112	15.512	3075.0	3.306E-02	1.707E+00
	5	0.374	-0.001	2.679	1949.0	4.700E-03	1.082E+00
	6	0.094	-0.320	2.675	1531.1	5.170E-03	8.498E-01
	7	0.092	-0.332	2.715	1678.0	5.300E-03	9.313E-01
CASE11	1	1.084	0.532	2.874	831.2	5.520E-03	4.613E-01
	2	0.249	-0.232	2.637	790.8	4.800E-03	4.389E-01
	3	0.249	-0.271	2.838	779.4	5.200E-03	4.326E-01
	4	0.667	-2.139	15.991	1737.6	2.806E-02	9.644E-01
	5	0.558	0.043	2.963	1109.1	5.150E-03	6.156E-01
	6	0.265	-0.249	2.966	745.4	5.130E-03	4.137E-01
	7	0.254	-0.262	2.908	747.3	5.160E-03	4.147E-01
	8	0.619	-2.022	14.970	1806.2	2.641E-02	1.002E+00
CASE12	1	0.261	-0.229	2.690	1197.3	4.890E-03	6.645E-01
	2	0.185	-0.325	2.834	1331.6	5.090E-03	7.390E-01
	3	0.189	-0.321	2.823	1404.5	5.100E-03	7.795E-01
	4	0.225	-2.621	15.785	2786.9	2.846E-02	1.547E+00
	5	0.500	0.014	2.779	1785.5	4.860E-03	9.910E-01
	6	0.223	-0.303	2.877	1259.7	5.260E-03	6.991E-01
	7	0.207	-0.296	2.769	1321.4	5.030E-03	7.334E-01
	8	0.250	-2.630	15.847	2892.2	2.880E-02	1.605E+00
CASE13	1	0.227	-0.169	2.373	988.9	3.950E-03	5.489E-01
	2	0.162	-0.341	2.975	1162.7	5.030E-03	6.453E-01
	3	0.170	-0.331	2.760	1296.7	5.010E-03	7.197E-01
	4	0.203	-2.490	15.803	2670.6	2.693E-02	1.482E+00
	5	0.515	0.001	2.894	1597.5	5.140E-03	8.866E-01
	6	0.194	-0.321	2.967	1196.5	5.150E-03	6.641E-01
	7	0.194	-0.320	2.901	1306.8	5.140E-03	7.253E-01
	8	0.180	-2.525	15.655	2833.5	2.705E-02	1.573E+00
CASE14	1	0.288	-0.216	2.804	1559.0	5.040E-03	8.653E-01
	2	0.158	-0.353	2.790	1726.0	5.110E-03	9.579E-01
	3	0.162	-0.358	2.732	1822.7	5.200E-03	1.012E+00
	4	0.104	-2.571	15.739	3610.9	2.676E-02	2.004E+00
	5	0.569	0.055	2.769	2133.8	5.140E-03	1.184E+00
	6	0.186	-0.332	2.784	1605.1	5.180E-03	8.908E-01
	7	0.182	-0.343	2.850	1679.4	5.250E-03	9.321E-01
	8	0.085	-2.653	15.659	3584.8	2.737E-02	1.990E+00

(3) 繰り返し載荷の影響

地震動のような繰り返し載荷を受ける場合には、載荷中に基礎底面に水が流入し、サクシヨンの効果が低下することが考えられる。そこで、載荷パターンⅠである同一ステップ内のモーメントと回転角の履歴曲線を図-3.18, 3.19 に示す。第1波目のモーメントと比べて第2波目以降のモーメントは若干低下しているものが多く、第2波目から20波目まではほぼ同じ履歴曲線を描いている。したがって、本実験で想定した載荷速度程度であれば、繰り返し荷重を受けている間のサクシヨンの効果は十分期待できると考えられる。

透水性地盤においては、サクシヨンの影響により地盤が乱されて抵抗モーメントが低下することが考えられたため、同じ載荷タイプ（タイプⅠ）を複数回実施し、抵抗モーメントの低下が見られるか検討した。

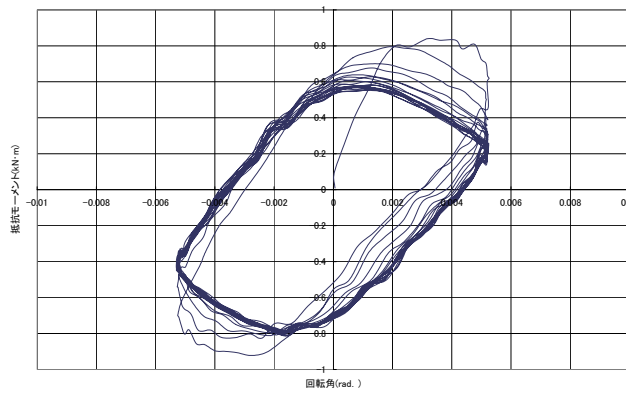
図-20, 21 に各載荷ステップの最大抵抗モーメントを示す。表-2 に示したように、繰り返し載荷タイプⅠを3回、一方向載荷タイプAを1回、さらに繰り返し載荷タイプⅠを3回の順で実施している。載荷を複数回実施しても抵抗モーメントに明確な低下は見られなかった。また、実験終了後に基礎底面の地盤を目視したが、特段の乱れは見られなかった。したがって、本実験で想定した程度の載荷速度や変位の範囲では地盤の乱れによる影響を考慮する必要はないと考えられる。

図-3.18 回転角－最大抵抗モーメントの履歴曲線（不透水性地盤）

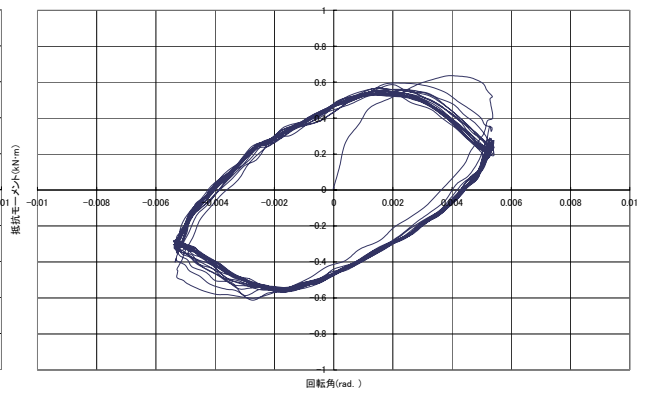
図-3.19 回転角－最大抵抗モーメントの履歴曲線（透水性地盤）

図-3.20 各載荷ステップにおける最大抵抗モーメント（不透水性地盤）

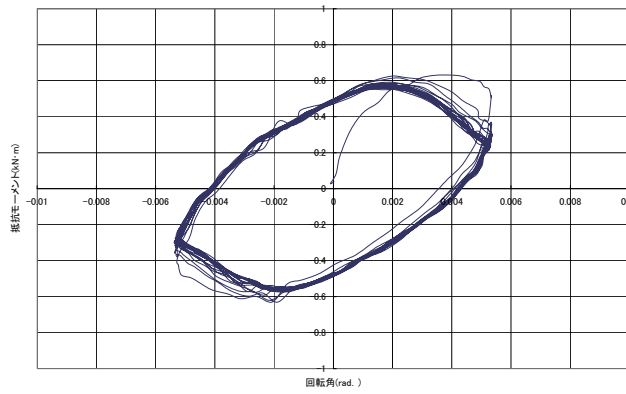
図-3.21 各載荷ステップにおける最大抵抗モーメント（透水性地盤）



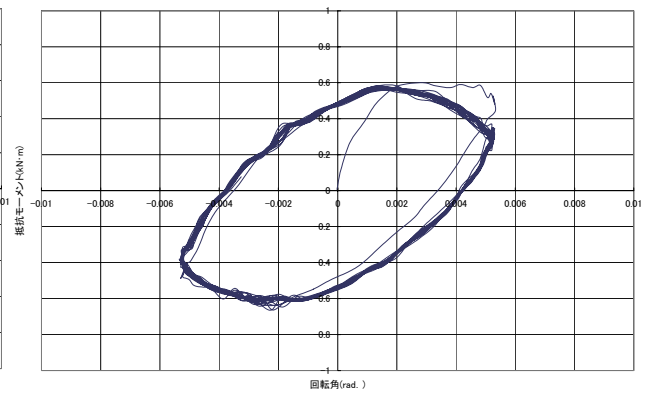
Case-1 (水深 400mm)



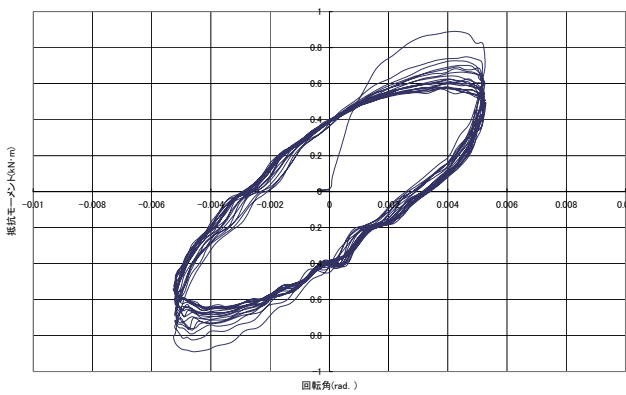
Case-2(水深 200mm)



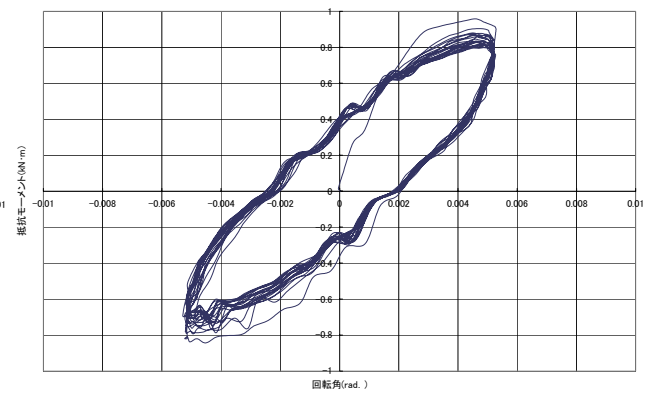
Case-3(水深 100mm)



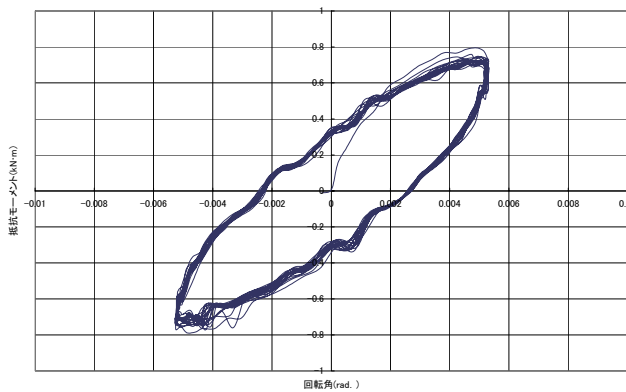
Case-4(水深 0mm)



Case-8(水深 400mm,止水ゴム有り)

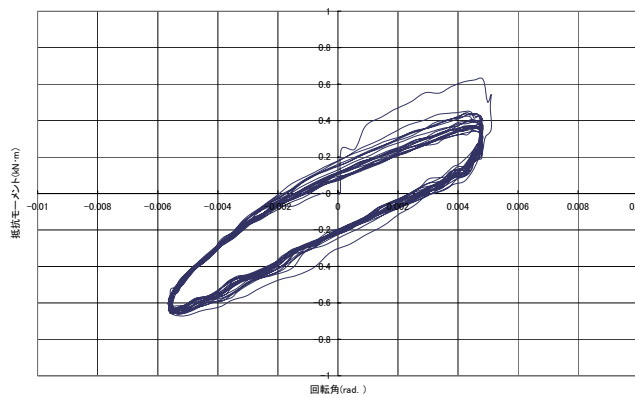


Case-9(水深 200mm,止水ゴム有り)

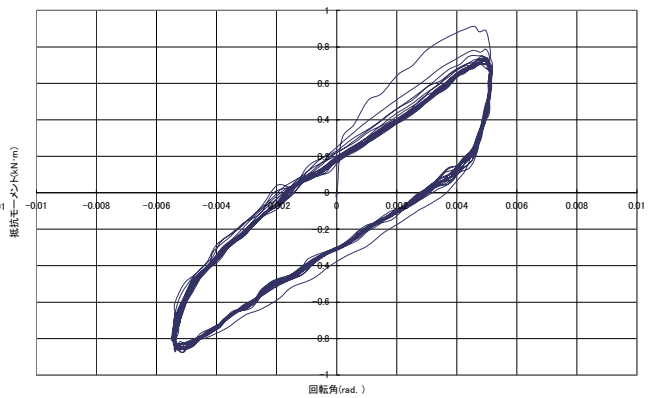


Case-10(水深 100mm,止水ゴム有り)

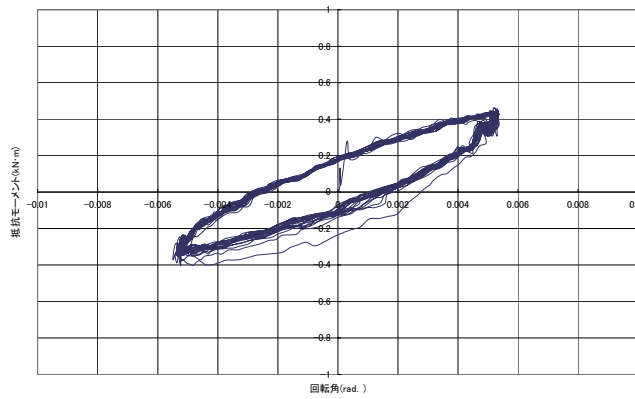
図-3.18 回転角－最大抵抗モーメントの履歴曲線（不透水性地盤）



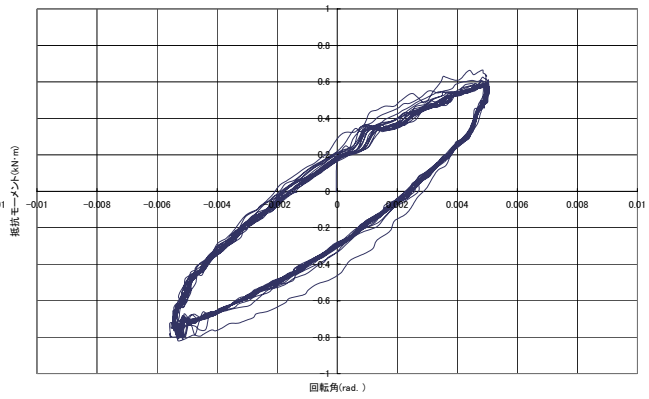
Case-6 (水深 400mm)



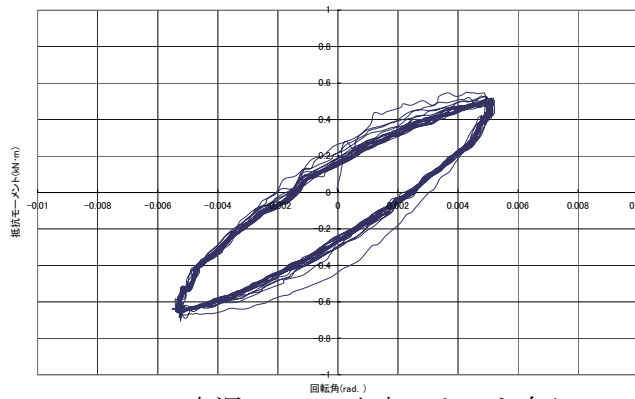
Case-7(水深 400mm,根入れ有り)



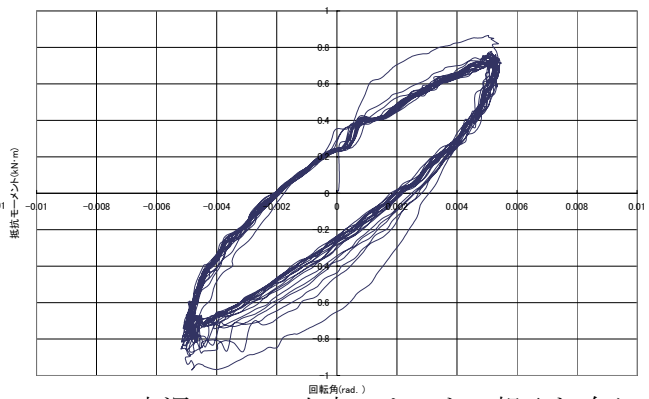
Case-11(水深 200mm)



Case-12(水深 200mm,根入れ有り)



Case-13(水深 200mm,止水スカート有り)



Case-14(水深 200mm,止水スカート・根入れ有り)

図-3.19 回転角－最大抵抗モーメントの履歴曲線（透水性地盤）

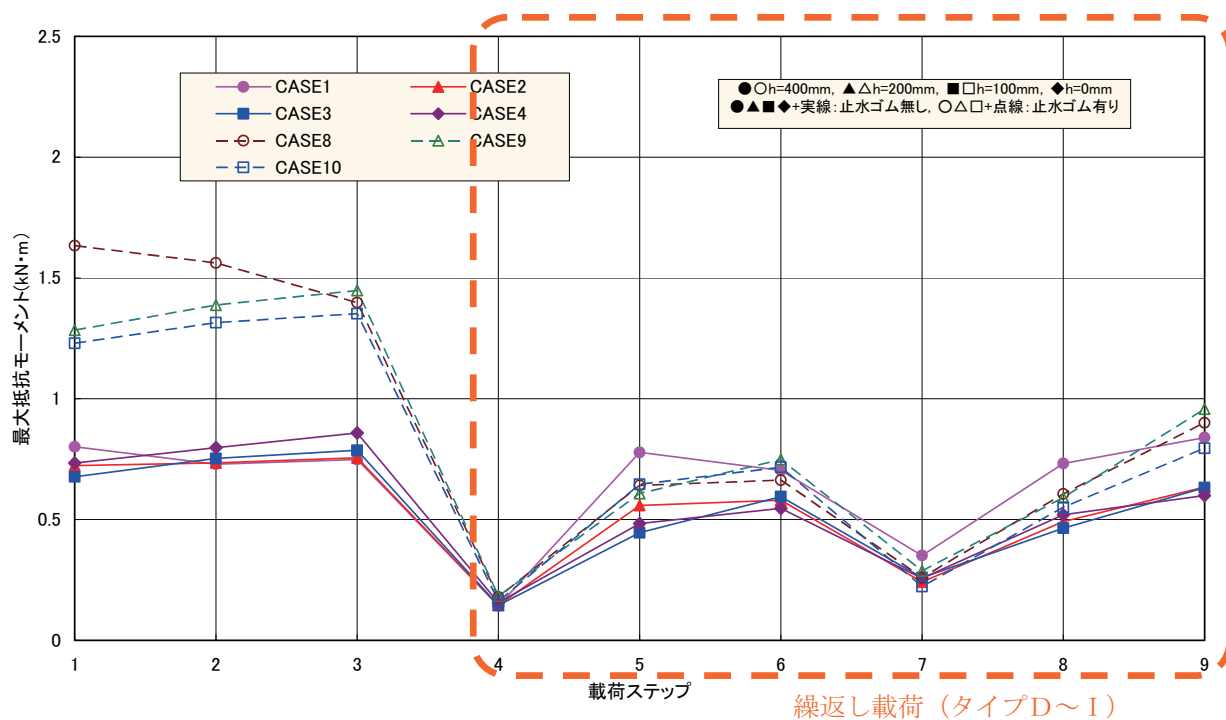


図-3.20 各载荷ステップにおける最大抵抗モーメント (不透水性地盤)

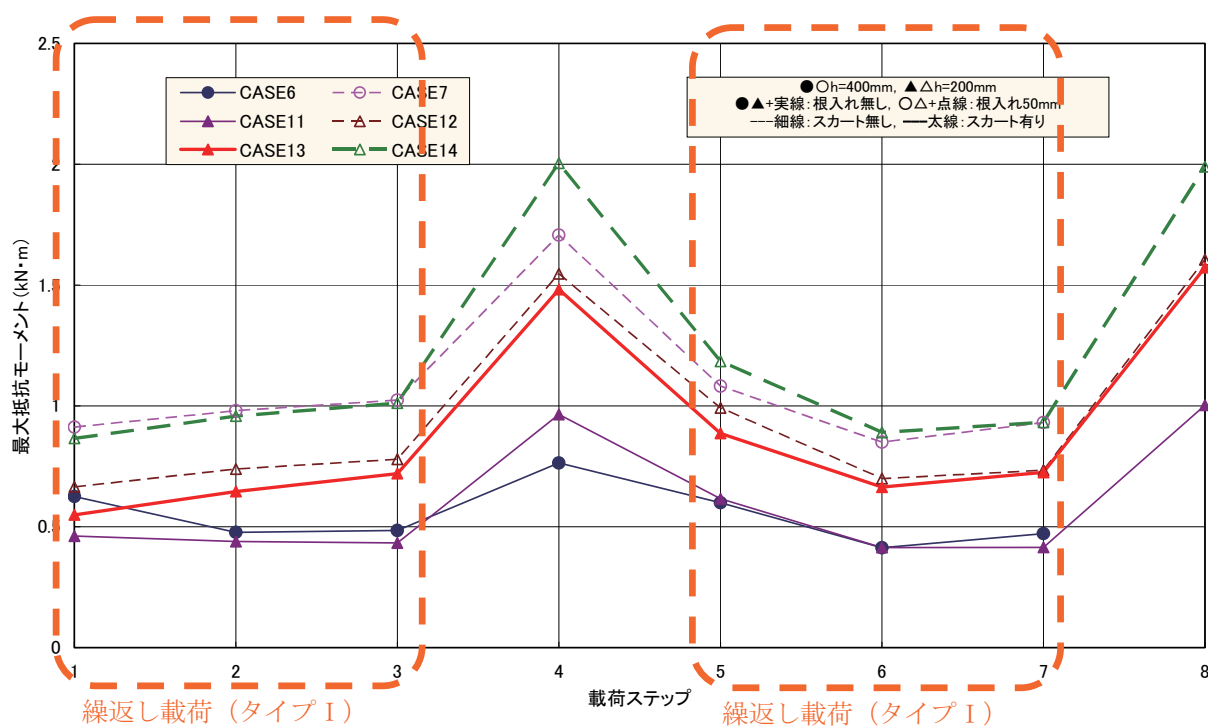


図-3.21 各载荷ステップにおける最大抵抗モーメント (透水性地盤)

3.3.2 フーチング底面の過剰間隙水圧に関する整理

(1)透水性地盤の密度管理

透水性地盤のケース(CASE6, 7, 11～14)における地盤の密度管理結果を表-3.8 に示した. この表で用いた計算式は次の通りである.

①締固め度 D 値
$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}}$$

 $\rho_{d \max}$: 締固め試験から得られる最大乾燥密度
 ρ_d : 求める砂の乾燥密度

②間 隙 比
$$e = \frac{\rho_s \cdot \rho_w}{\rho_d} - 1$$

 ρ_s : 土粒子の密度, ρ_w : 水の密度

③飽和単位体積重量
$$\gamma_{sat} = \frac{(\rho_s \cdot \rho_w + e \cdot \rho_w')}{(1 + e)} \cdot g$$

 ρ_w' : メトロースの密度, g : 重力加速度

④水中単位体積重量
$$\gamma' = (\rho_{sat} - \rho_w') \cdot g$$

表-3.8 地盤密度管理の結果一覧

①江戸崎砂の物性	・ 突き固めによる締固め試験	・ ρ_{dmax}	1. 589	(g/cm ³)	・ ω_{opt}	14. 0	(%)
②メトロロースの密度	・ 土粒子の密度試験	・ ρ_s	2. 668	(g/cm ³)			
③土槽の仕様	・ ρ_w	1. 006	(g/cm ³)				
	・ 実験土槽	幅150cm，奥行き29. 6763cm					

CASE	透水性 地盤材料	透水性地盤 の層厚 (cm)	フーチング の根入れ (cm)	地盤内フー チング体積 (cm ³)	透水性地盤 の体積 (cm ³)	地盤材料の 含水比 (%)	地盤材料の質量		乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	相対密度 Dr (%)	締固め度 D値 (%)	間隙比 e	飽和単位 体積重量 γ_{sat} (kN/m ³)	水中単位 体積重量 γ' (kN/m ³)
6	江戸崎砂	5. 0	0. 0	0. 0	22257. 2	13. 5	42. 20	37. 17	1. 670	-	105. 1	0. 60	20. 067	10. 201
7		10. 0	5. 0	2000. 0	42514. 5	13. 5	80. 46	70. 86	1. 667	-	104. 9	0. 60	20. 048	10. 183
11		20. 0	0. 0	0. 0	89028. 9	13. 6	168. 72	148. 55	1. 669	-	105. 0	0. 60	20. 058	10. 193
12		25. 0	5. 0	2030. 1	109256. 0	13. 6	207. 05	182. 29	1. 669	-	105. 0	0. 60	20. 058	10. 193
13		20. 0	0. 0	0. 0	89028. 9	13. 6	168. 72	148. 55	1. 669	-	105. 0	0. 60	20. 058	10. 193
14		25. 0	5. 0	2030. 1	109256. 0	13. 6	207. 05	182. 29	1. 669	-	105. 0	0. 60	20. 058	10. 193

(2) フーチング底面の間隙水圧

フーチング底面に作用する間隙水圧の最大値・分布・経時変化について下記の図表にまとめた。

表-3.9 各ケースの各計測点における荷重ステップ毎の間隙水圧の最大値

図-3.22 間隙水圧の最大値と水深の関係

図-3.23, 24 各ケースの各計測点におけるタイプ I 波形載荷 1 波目の間隙水圧

図-3.25, 26 タイプ I 波形載荷 1 波目に間隙水圧が最大となる時の間隙水圧分布

図-3.27, 28 繰返し載荷時の間隙水圧の経時変化

— 繰返し載荷 1 波目に浮上り側となる底版下面端部 P5, P14, P19 の平均値 —

不透水性地盤（止水ゴム有り）では浮上り端部付近に非常に大きな負圧が生じており、サクシヨンの効果が大きく発揮されていることが確認できる。重力場での実験を基に提案したサクシヨン考慮の浮上り抵抗式を適用するにあたっては、載荷速度が速い場合に基礎底面の浮き上がった範囲の全てがほぼ真空に近い等分布圧（一定圧力である静水圧と大気圧がゼロ）であると仮定しているが、このような状態は載荷のごく初期でのみで見られている。サクシヨンが最大となる時点では、間隙水圧分布は浮上り側から押込み側へのなだらかな傾斜分布であり、サクシヨン考慮の浮上り抵抗式の条件とは異なった状態となっている。これは水の流入により真空状態から負圧が低下した事が原因と思われ、推定式の状態を保つためにはさらに速い角速度を与えることが必要と思われる。

一方、透水性地盤においては、根入れなしの時には負圧が非常に小さくサクシヨンが殆ど発揮されていない。しかし、根入れ有りの場合は真空状態に近い負圧が生じており、負圧の分布形状は不透水性地盤と比べても広く分布しており、基礎端部から徐々に低下している。根入れがある場合は、基礎端部からの水の流入よりも、透水性地盤を通じて底面から水が流入する影響が大きいことが推測される。



写真-10 止水スカーツを用いた場合の
供試体撤去後の地盤

止水スカーツの効果は、抵抗モーメントが増加する傾向に反して、底版直下の間隙水圧は減少しており有効な対策ではないように見える。この理由は、止水スカーツ有りのケースではスカーツ内の地盤がスカーツと一体化して、あたかもスカーツ先端レベルに仮想底版があるような挙動をしているためと思われる。最大サクシヨンが発生している箇所はスカーツ先端部であり、止水スカーツ内である

底版下面では水圧変動が殆ど起こっていないと推測される。この現象は、写真-10 に示すフーチング撤去時にスカート内の地盤が一緒に持ち上がる様子からも推察できる。

表-3.9 各ケースの各計測点における荷重ステップ毎の過剰間隙水圧の最大値

不透水性地盤	Case	水深	STEP/Wave	STEP1	STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	STEP6	STEP7	STEP8	STEP9
			止水	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	1	400	なし	-413.6	-397.3	-356.4	-114.9	-345.6	-349.0	-218.0	-355.5	-410.4
	2	200	なし	-358.6	-392.1	-361.5	-108.6	-285.7	-338.6	-114.8	-257.6	-349.0
	3	100	なし	-288.2	-386.4	-381.3	-95.9	-251.9	-202.7	-115.0	-274.1	-323.9
	8	400	有り	-577.1	-585.2	-657.5	-159.6	-420.3	-372.0	-192.0	-387.2	-377.5
	9	200	有り	-465.6	-440.4	-410.0	-121.7	-389.0	-435.6	-148.9	-389.3	-375.0
	10	100	有り	b	-295.7	-265.6	-108.5	-261.6	-267.6	-127.3	-295.0	-390.7

透水性地盤	Case	水深	STEP/Wave	STEP1	STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	STEP6	STEP7	STEP8
			根入れ/止水	I	I	I	A	I	I	I	A
	6	400	なし/なし	-188.7	-131.0	-134.2	-291.3	-264.4	-157.7	-172.2	-186.6
	11	200	なし/なし	-101.5	-109.7	-111.9	-181.5	-104.5	-111.2	-119.0	-212.3
	7	450	有り/なし	-277.6	-300.4	-351.2	-375.4	-236.1	-315.2	-339.5	
	12	250	有り/なし	-179.6	-206.7	-226.8	-251.1	-244.0	-293.3	-254.7	-243.3
	13	250	なし/有り	-44.7	-59.5	-74.8	-223.3	-59.3	-74.3	-83.1	-236.2
	14	300	有り/有り	-32.8	-76.2	-91.9	-228.0	-84.3	-95.1	-97.3	-231.0

地盤内 (透水性地盤)	Case	水深	STEP/Wave	STEP1	STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	STEP6	STEP7	STEP8
			根入れ/止水	I	I	I	A	I	I	I	A
	6	400	なし/なし	-129.9	-93.6	-92.7	-207.6	-74.8	-89.4	-103.1	-111.3
	11	200	なし/なし	-8.8	-15.0	-17.5	-35.4	-14.8	-15.9	-16.4	-41.2
	7	450	有り/なし	-164.9	-160.7	-202.6	-293.4	-181.3	-171.6	-210.7	
	12	250	有り/なし	-15.7	-32.8	-39.0	-108.5	-42.1	-46.5	-47.0	-114.2
	13	250	なし/有り	-4.4	-29.2	-39.7	-146.4	-32.2	-45.3	-49.6	-154.5
	14	300	有り/有り	-9.8	-41.9	-54.9	-164.2	-51.9	-62.8	-62.7	-165.0

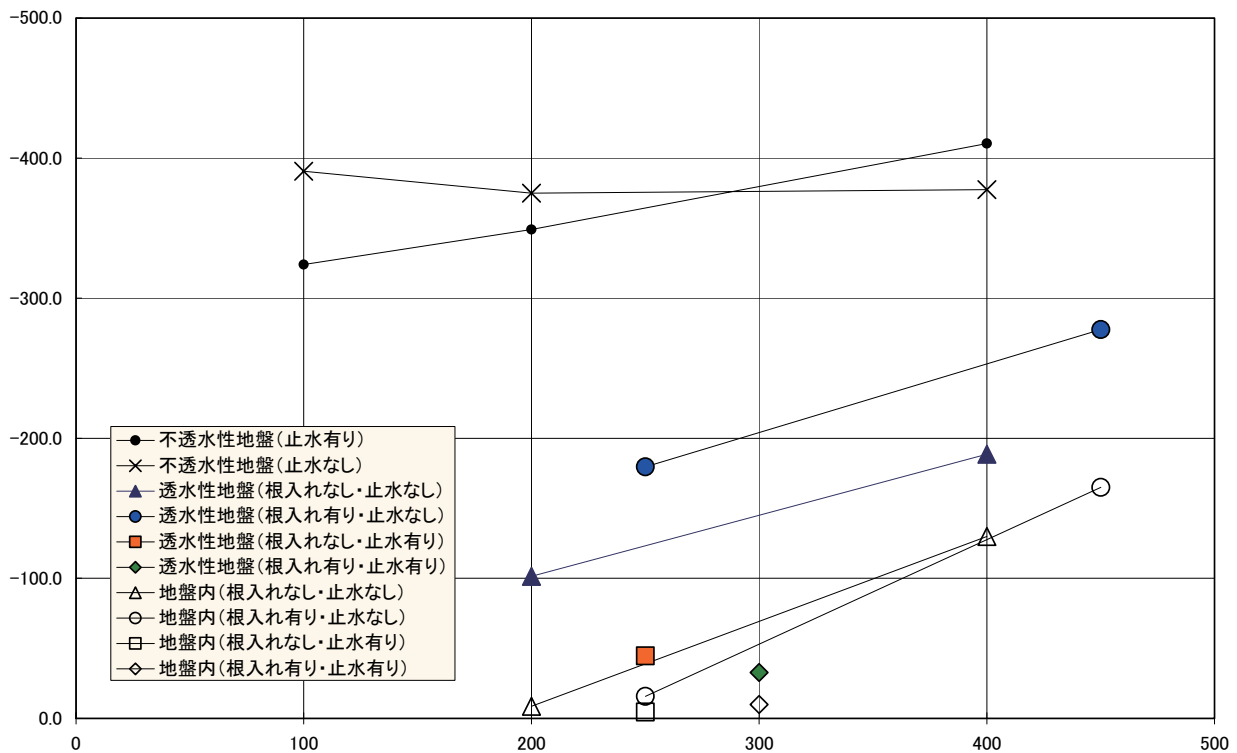
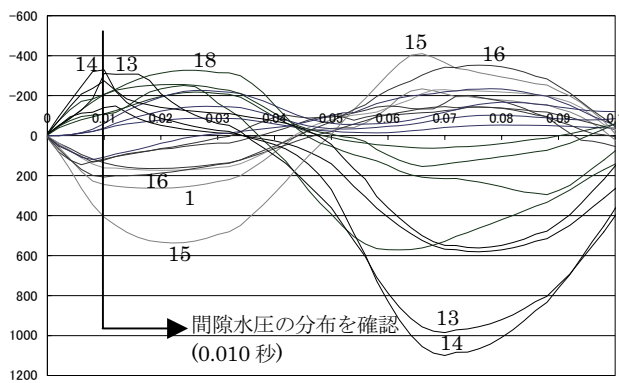
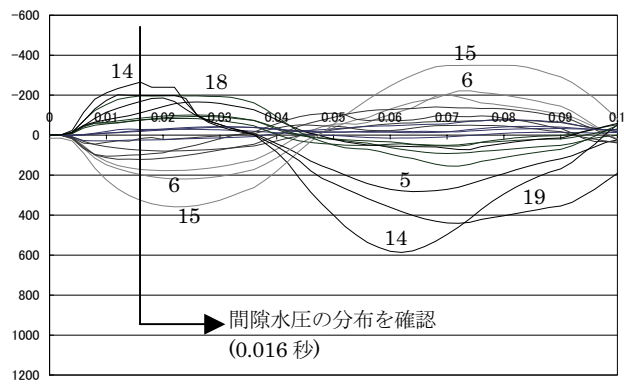


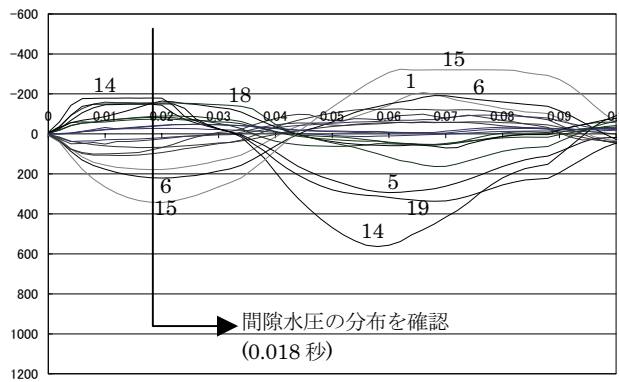
図-3.22 間隙水圧の最大値と水深の関係



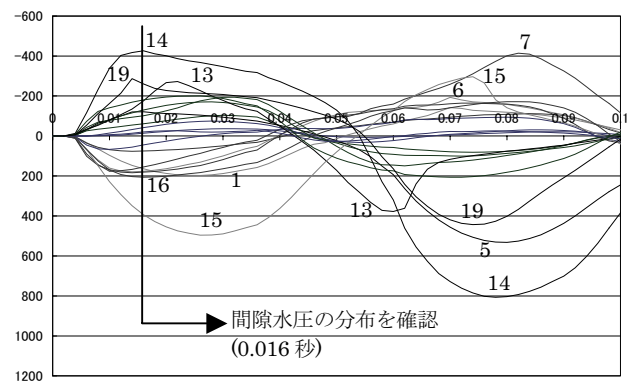
Case1 (水深 400mm)



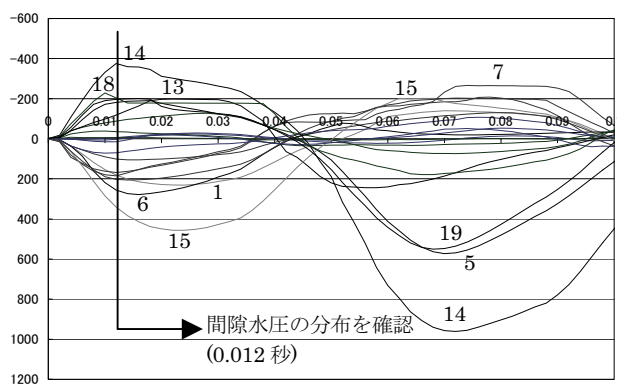
Case2 (水深 200mm)



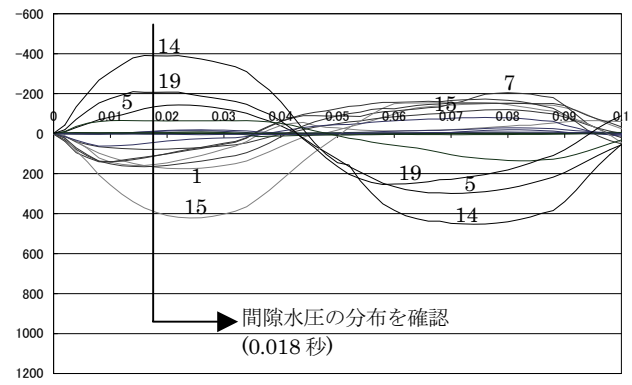
Case3 (水深 100mm)



Case8 (水深 400mm, 止水ゴム有り)

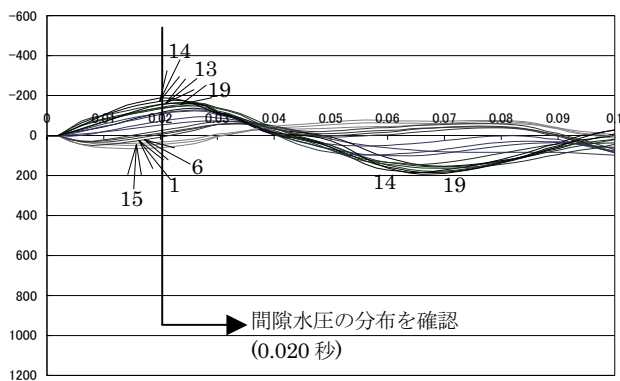


Case9 (水深 200mm, 止水ゴム有り)

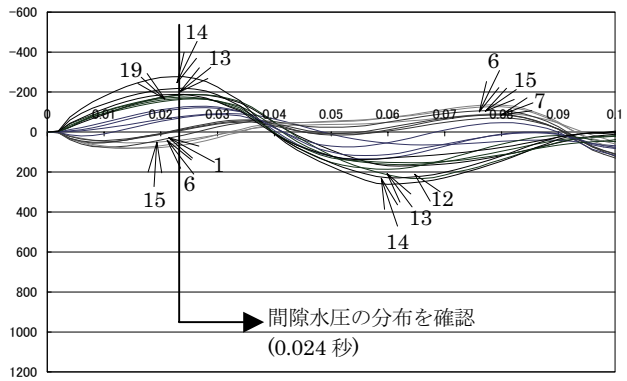


Case10 (水深 100mm, 止水ゴム有り)

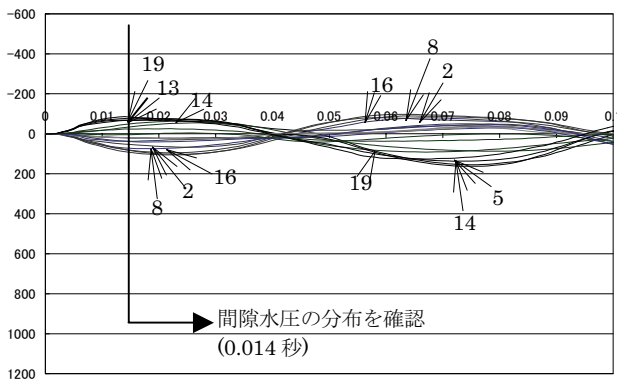
図-3.23 各ケースの各計測点におけるタイプ I 波形荷重 1 波目の間隙水圧 (不透水性地盤)



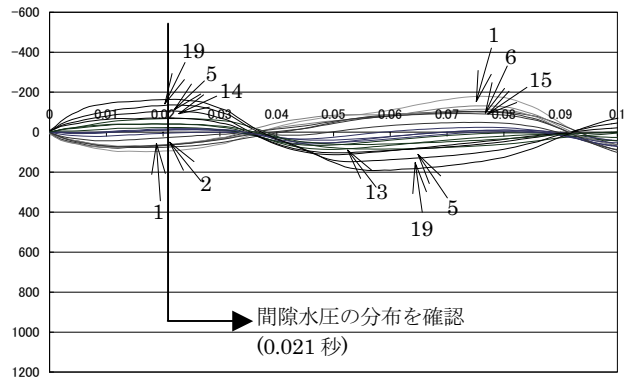
Case6 (水深 400mm)



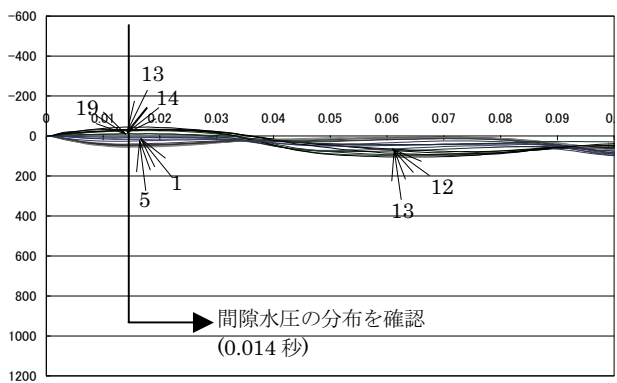
Case7 (水深 400mm, 根入れ有り)



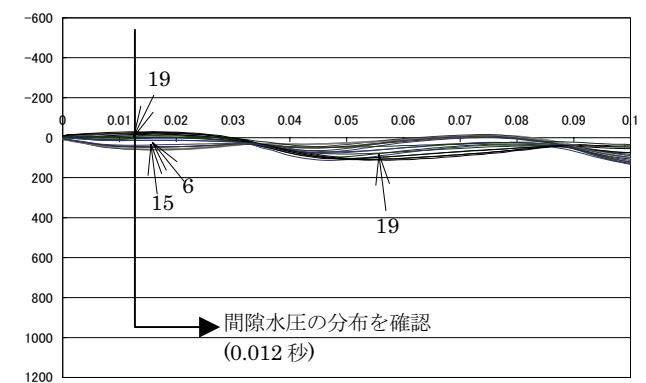
Case11 (水深 200mm)



Case12 (水深 200mm, 根入れ有り)



Case13 (水深 200mm, 止水スカート有り)



Case14 (水深 200mm, 根入れ・止水スカート有り)

図-3.24 各ケースの各計測点におけるタイプ I 波形载荷 1 波目の過剰間隙水圧 (透水性地盤)

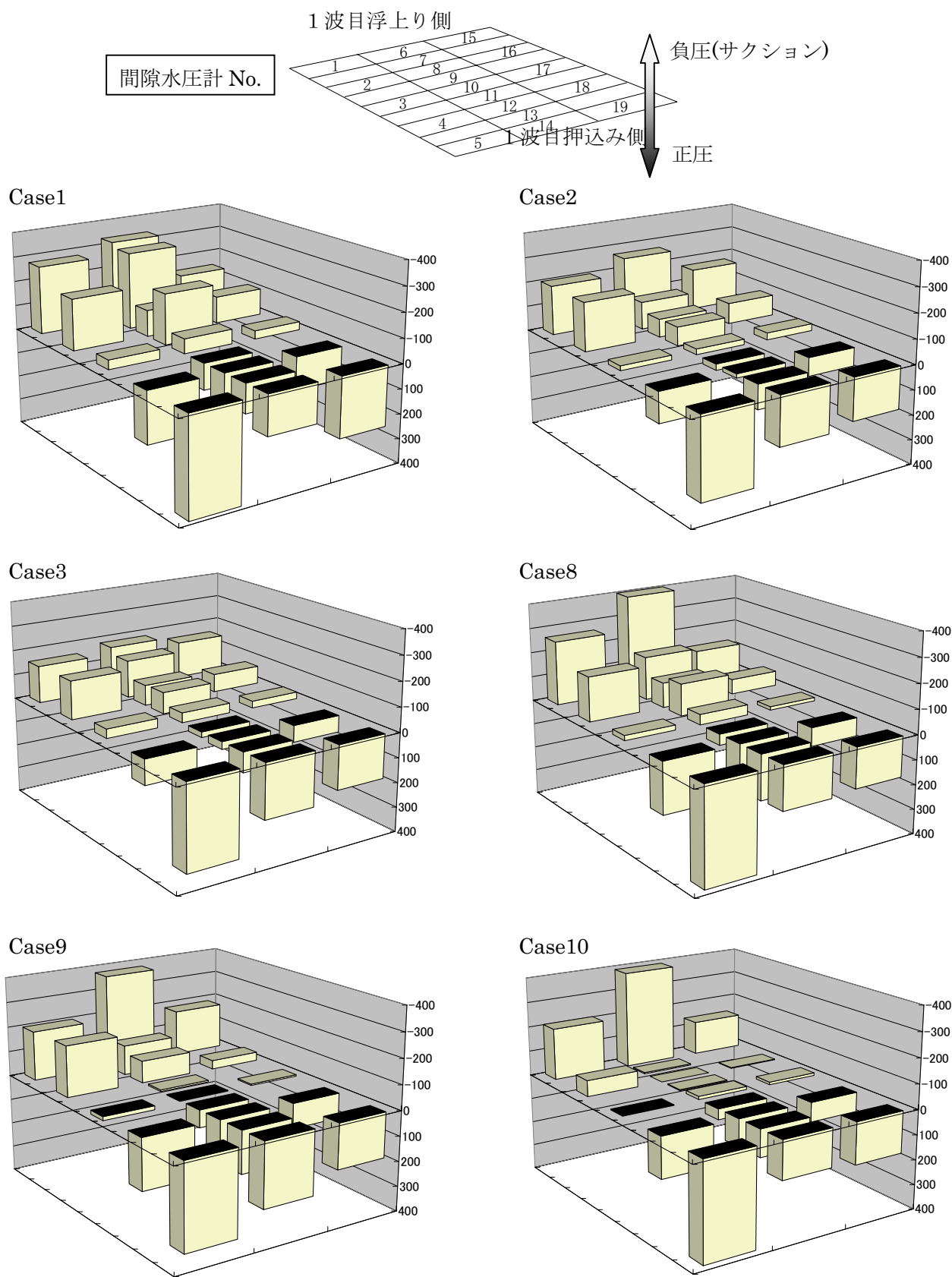


図-3.25 タイプ I 波形载荷 1 波目に過剰間隙水圧が最大となる時の過剰間隙水圧分布 (不透水性地盤)

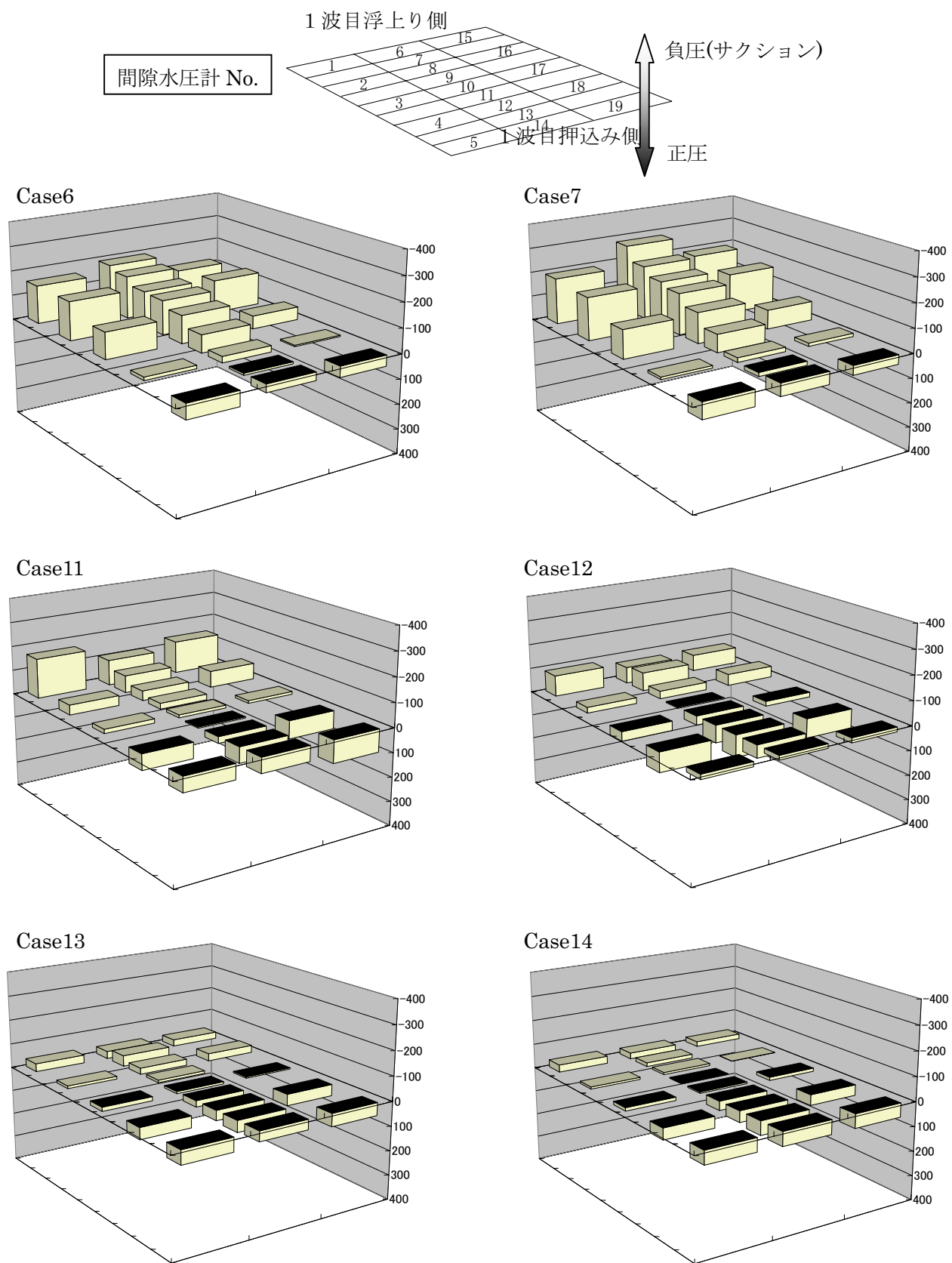


図-3.26 タイプ I 波形载荷 1 波目に過剰間隙水圧が最大となる時の過剰間隙水圧分布（透水性地盤）

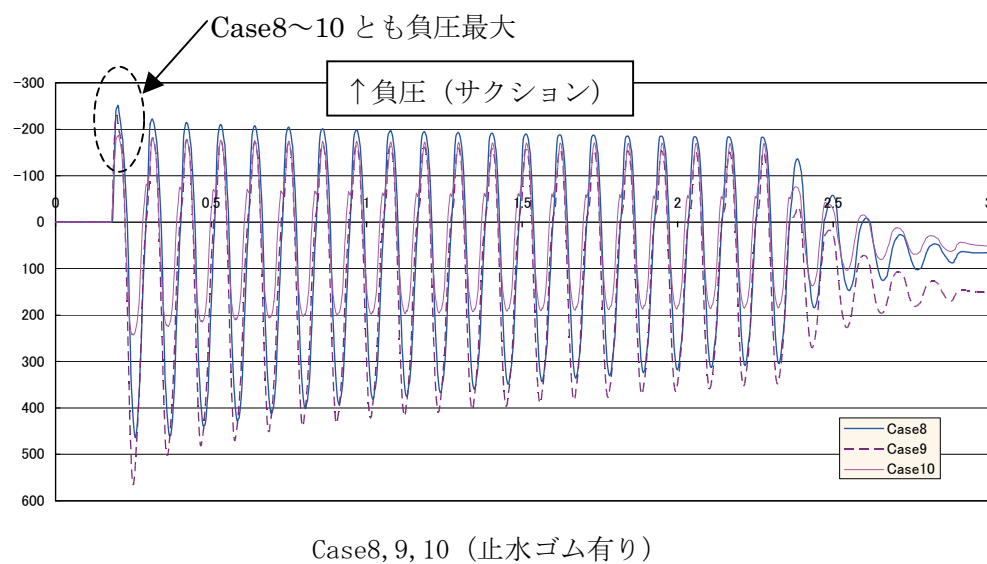
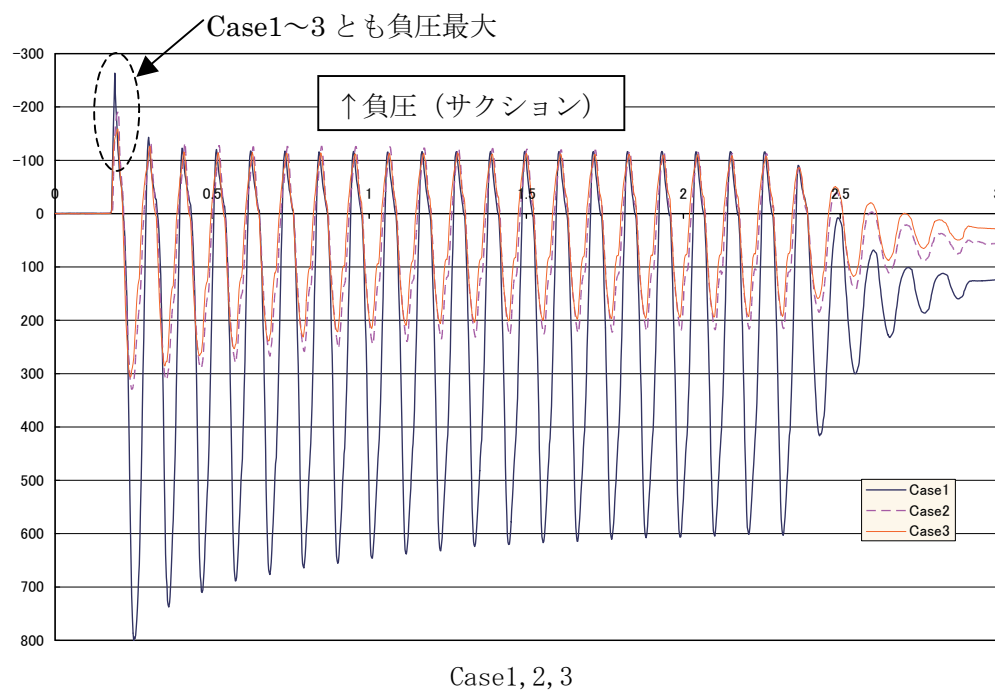


図-3.27 繰返し載荷時の過剰間隙水圧の経時変化 (不透水性地盤)

— 繰返し載荷 1 波目に浮上り側となる底版下面端部 P5, P14, P19 の平均値 —

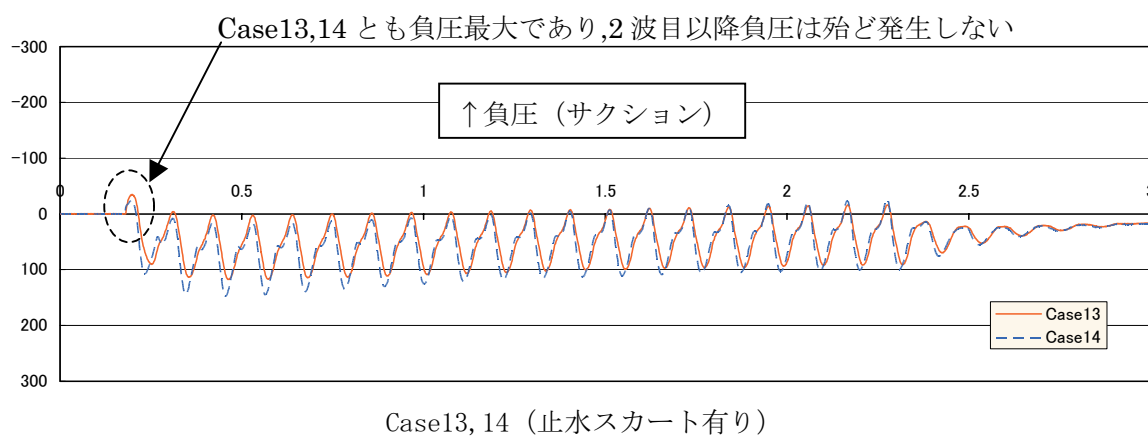
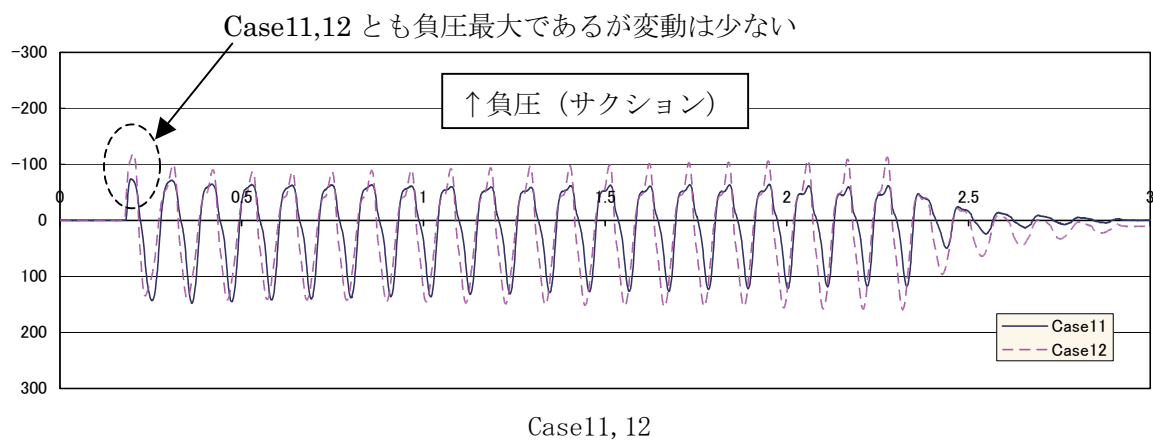
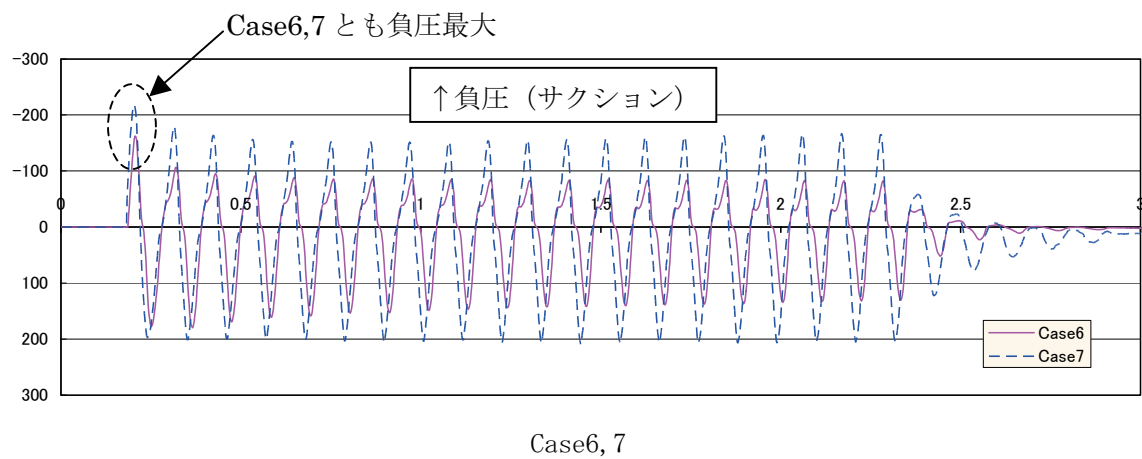


図-3. 28 繰返し荷载時の過剰間隙水压の経時変化 (透水性地盤)

— 繰返し荷载 1 波目に浮上り側となる底版下面端部 P5, P14, P19 の平均値 —

4. まとめ

本研究は、超長大橋の基礎の設計法の効率化を目指して、基礎底面に発生するサクシヨンの効果を考慮した場合の影響検討を行っており、今回の遠心場における載荷試験により以下の点が明らかとなった。

- ①水深が大きいほどサクシヨンによる抵抗モーメントは大きくなるため、大水深基礎の設計に適用した場合、大きなメリットとなることが期待される。
- ②支持層が粘土地盤の場合だけでなく、砂地盤においても根入れや止水スカートを設置することによりサクシヨン効果が期待できる。ただし、止水スカートを用いる場合はサクシヨンの作用位置が底版直下よりもスカート先端に近づくと思われるためその影響を考慮する必要がある。
- ③繰り返し載荷中においても抵抗モーメントの低下はわずかである。

なお、本研究で得られた成果は、地盤条件が限られた範囲で得られたものであることから、実橋の設計に活用するにはさらなる検討が必要であるが、基礎寸法の縮小化により、コスト縮減および施工性の向上に寄与することが十分に期待できる技術であると考ええる。

参考文献

- 1) 福井次郎，大塚雅裕，喜多直之：水中基礎に作用する地震時のサクシヨンに関する研究，土木研究所資料，第 3896 号，2003.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，IV 下部構造編，丸善，2002.
- 3) 福井次郎，大塚雅裕，喜多直之，浅井隆一：長大基礎に作用する地震時のサクシヨンの効果，土木学会地震工学論文集，2003.

付 録

付-1 江戸崎砂の土質試験結果

付-2 サクシヨンを利用した水中基礎～スカート・サクシヨン基礎～

付-1 江戸崎砂の土質試験結果

1. 室内土質試験方法

透水性地盤材料の江戸崎砂に対し、物理・安定化試験、透水試験及びせん断試験を実施した。表-1.1, 1.2 に各試験の項目、規格・基準と試験条件を示す。このうち、変形特性を求めるための試験の軸ひずみ測定には、供試体上下端の乱れや測定誤差等によるベッディングエラーを防ぐために、局所変形測定装置（LDT）を用いた。

なお、通常の繰返し三軸試験（動的変形試験）では供試体を飽和させて試験を行うが、今回は不飽和地盤でも遠心実験を行ったため、全 2 供試体のうち 1 供試体は不飽和の状態で試験を行った。

表-1.1 室内土質試験（物理・安定化試験および透水試験）の項目と規格

土質試験名	規格・基準	備考
土粒子の密度試験	JIS A 1202	
土の含水比試験	JIS A 1203	
土の粒度試験	JIS A 1204	ふるいと沈降分析
突固めによる土の締固め試験	JIS A 1210	A-b 法
土の透水試験	JIS A 1218	変水位法

表-1.2 室内土質試験（せん断試験）の規格・基準と試験条件

土質試験名 (規格・基準)	圧密圧力 (kN/m ²)	供試体 数	備 考
圧密非排水(CU)三軸圧縮試験 (JGS 0523-2000)	100, 200, 400	3	強度定数(c, ϕ)を求める試験
	200	1	静的に変形特性を調べる試験 軸ひずみ LDT 測定
変形特性を求めるための繰返し 三軸試験—動的変形試験 (JGS 0542-2000)	200	2	変形特性を調べるための試験 (動的変形試験) 軸ひずみ LDT 測定

2. 室内土質試験結果

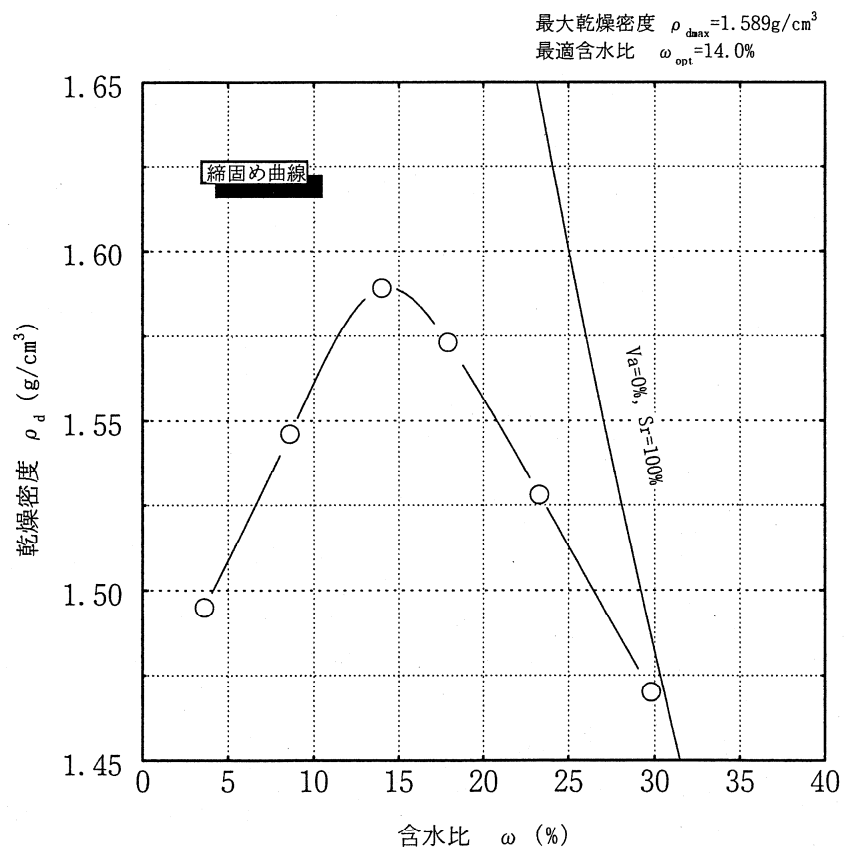
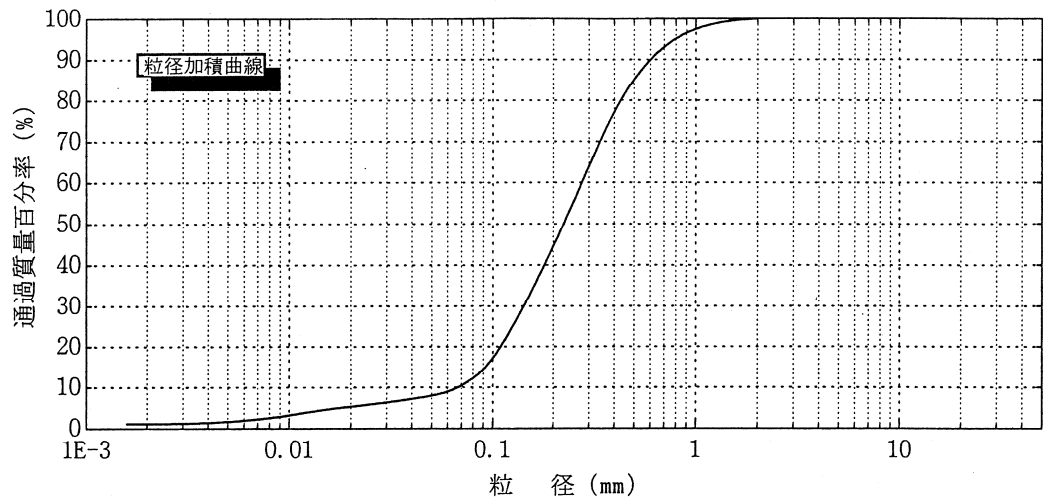
2.1 物理・安定化特性

透水性地盤の材料には、江戸崎砂を使用した。この地盤材料は、茨城県稲敷郡江戸崎町の洪積台地から採取される山砂であり市販されている。

江戸崎砂の粒度特性と締固め特性を、それぞれ図 5.1-1 の粒径加積曲線と締固め曲線に示した。また、その他の物理特性を表 5.1-1 に、試験結果データシートを表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 透水性地盤材料の物理・安定化特性

地盤材料			江戸崎砂
項 目			
物理	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.668
	自然含水比 ω_n (%)		14.0
	粒度	礫分含有率 (%)	0
		砂分含有率 (%)	88.9
		シルト分含有率 (%)	9.7
		粘土分含有率 (%)	1.4
		均等係数 U_c	4.05
		平均粒径 D_{50} (mm)	0.23
安定化	締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.589
		自然含水比 ω_n (%)	14.0



土質試験結果一覧表 (材 料)

調査件名 水中基礎のサクシオン効果に関する遠心実験

整理年月日 2004.12.3

整理担当者 大谷 雅之

試料番号 (深 さ)	江戸崎砂	締め固め度95%	締め固め度100%	締め固め度105%		
一般	湿潤密度 ρ_i g/cm ³					
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³					
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.668				
	自然含水比 w_n %	14.0				
	間隙比 e					
	飽和度 S_r %					
粒度	石分 (75mm以上) %	0.0				
	礫分 ¹⁾ (2 ~ 75mm) %	0.0				
	砂分 ¹⁾ (0.075 ~ 2mm) %	88.9				
	シルト分 ¹⁾ (0.005 ~ 0.075mm) %	9.7				
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	1.4				
	最大粒径 mm	2.00				
	均等係数 U_c	4.05				
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %					
	塑性限界 w_p %					
	塑性指数 I_p					
分類	地盤材料の分類名	細粒分まじり砂				
	分類記号	(S-F)				
締め固め	試験方法	A-c				
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} g/cm ³	1.589				
	最適含水比 w_{opt} %	14.0				
CBR	試験方法					
	膨張比 r_e %					
	貫入試験後含水比 w_2 %					
	平均 CBR %					
コーン指数	%修正 CBR					
	突固め回数 回/層					
コーン指数	コーン指数 q_c kN/m ²					
	透水係数 k cm/s		9.63E-04	3.96E-04	1.30E-04	
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		1.511	1.592	1.672	
	締め固め度 D (%)		95.1	100.2	105.2	

特記事項

1) 石分を除いた 75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

JGS	0051	地盤材料の工学的分類	
-----	------	------------	--

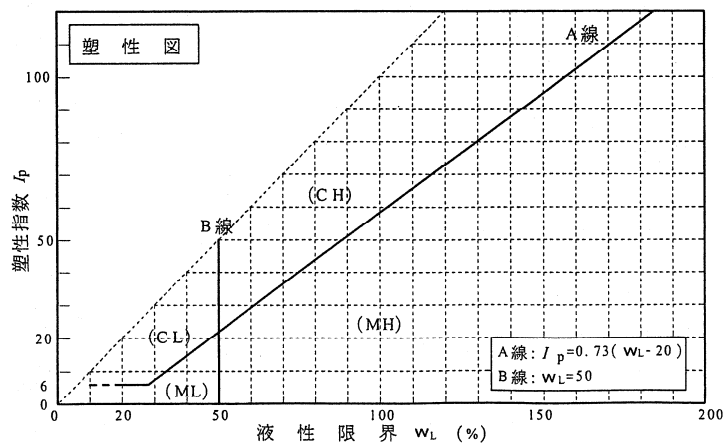
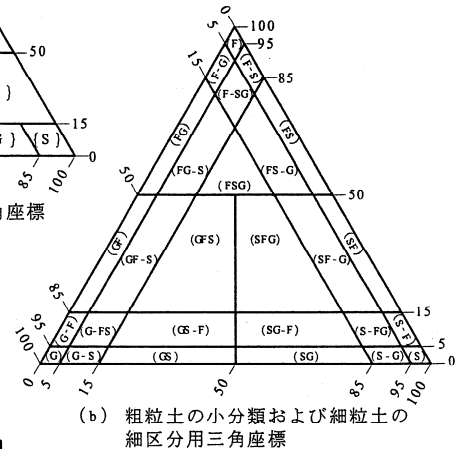
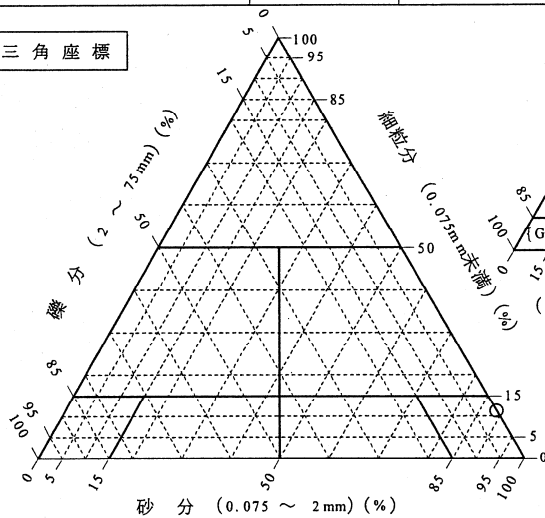
調査件名 水中基礎のサクション効果に関する遠心実験

試験年月日

試験者 大谷 雅之

試料番号 (深さ)	江戸崎砂	締め固め度95%	締め固め度100%	締め固め度105%		
石分(75mm以上)	%	0.0				
礫分(2～75mm)	%	0.0				
砂分(0.075～2mm)	%	88.9				
細粒分(0.075mm未満)	%	11.1				
シルト分(0.005～0.075mm)	%	9.7				
粘土分(0.005mm未満)	%	1.4				
最大粒径	mm	2.00				
均等係数 U_c		4.05				
液性限界 w_L %						
塑性限界 w_p %						
塑性指数 I_p %						
地盤材料の分類名	細粒分まじり砂					
分類記号	(S-F)					
凡例記号	○					

三角座標



特記事項 1)主に観察と塑性図で判別分類

JIS A 1202 JGS 0111	土粒子の密度試験 (測定)	
------------------------	---------------	--

調査件名 水中基礎のサクシオン効果に関する遠心実験

試験年月日

試験者 飯島 かおる

試料番号 (深さ)		江戸崎砂					
ピクノメーター No.		43	44	45			
(試料+蒸留水+ピクノメーター) 質量 m_b g		159.566	163.827	163.481			
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C		21	21	21			
T °C における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³		0.99799	0.99799	0.99799			
温度 T °C の蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター) 質量 m_a g		147.603	152.084	151.452			
試料の 炉乾燥質量	容器 No.						
	(炉乾燥試料+容器) 質量 g	19.085	18.750	19.259			
	容器 質量 g	0.000	0.000	0.000			
	m_s g	19.085	18.750	19.259			
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.675	2.671	2.659			
平均 値 ρ_s g/cm ³		2.668					
試料番号 (深さ)							
ピクノメーター No.							
(試料+蒸留水+ピクノメーター) 質量 m_b g							
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C							
T °C における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³							
温度 T °C の蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター) 質量 m_a g							
試料の 炉乾燥質量	容器 No.						
	(炉乾燥試料+容器) 質量 g						
	容器 質量 g						
	m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³							
平均 値 ρ_s g/cm ³							
試料番号 (深さ)							
ピクノメーター No.							
(試料+蒸留水+ピクノメーター) 質量 m_b g							
m_b をはかったときの内容物の温度 T °C							
T °C における蒸留水の密度 $\rho_w(T)$ g/cm ³							
温度 T °C の蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター) 質量 m_a g							
試料の 炉乾燥質量	容器 No.						
	(炉乾燥試料+容器) 質量 g						
	容器 質量 g						
	m_s g						
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³							
平均 値 ρ_s g/cm ³							

特記事項

1) ピクノメーターの検定結果から求める。

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$$

JIS A 1203 JGS 0121	土の含水比試験	
------------------------	---------	--

調査件名 水中基礎のサクシヨン効果に関する遠心実験

試験年月日

試験者 飯島 かおる

試料番号 (深さ)	江戸崎砂					
容器 No.	519	132	609			
m_a g	36.67	35.12	38.71			
m_b g	33.63	32.24	35.35			
m_c g	11.95	11.61	11.56			
w %	14.0	14.0	14.1			
平均値 w %	14.0					
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

試料番号 (深さ)						
容器 No.						
m_a g						
m_b g						
m_c g						
w %						
平均値 w %						
特記事項						

$$w = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100$$

m_a : (試料 + 容器) 質量
 m_b : (炉乾燥試料 + 容器) 質量
 m_c : 容器質量

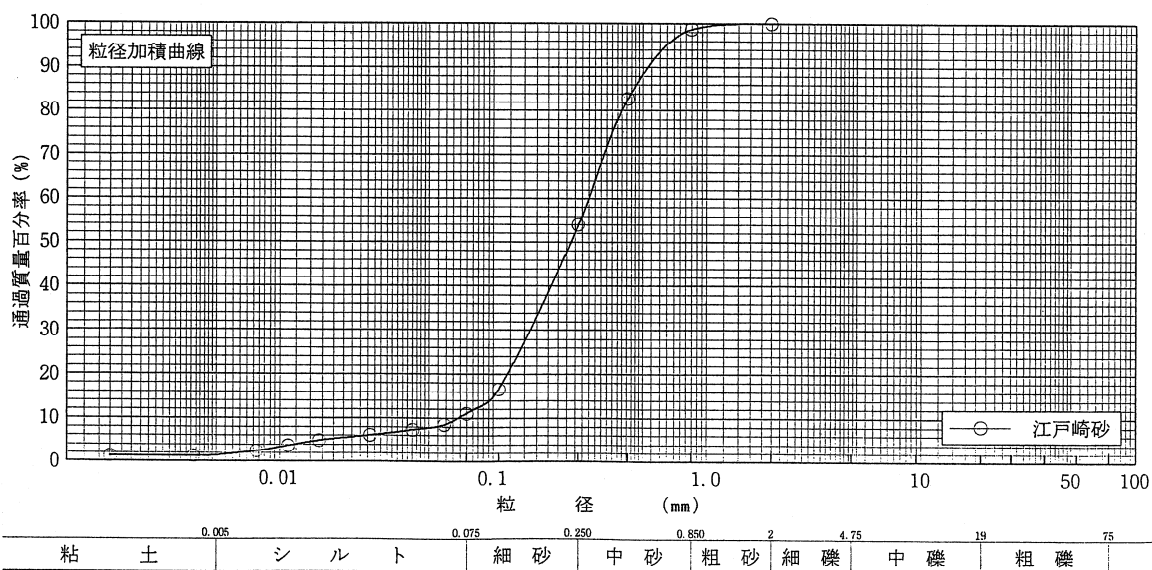
JIS A 1204 JGS 0131	土の粒度試験（粒径加積曲線）	
------------------------	----------------	--

調査件名 水中基礎のサクション効果に関する遠心実験

試験年月日

試験者 飯島 かおる

試料番号 (深さ)	江戸崎砂		試料番号 (深さ)		江戸崎砂	
ふるい	粒径 mm	通過質量百分率 %	粒径 mm	通過質量百分率 %	粗礫分 %	0.0
	75		75		中礫分 %	0.0
	53		53		細礫分 %	0.0
	37.5		37.5		粗砂分 %	1.4
	26.5		26.5		中砂分 %	44.7
	19		19		細砂分 %	42.8
	9.5		9.5		シルト分 %	9.7
	4.75		4.75		粘土分 %	1.4
	2	100.0	2		2mm ふるい通過質量百分率 %	100.0
	0.850	98.6	0.850		425 μ m ふるい通過質量百分率 %	82.7
	0.425	82.7	0.425		75 μ m ふるい通過質量百分率 %	11.1
	0.250	53.9	0.250		最大粒径 mm	2.00
	0.106	16.5	0.106		60 % 粒径 D_{60} mm	0.280
	0.075	11.1	0.075		50 % 粒径 D_{50} mm	0.230
沈降分析	0.0593	8.5			30 % 粒径 D_{30} mm	0.149
	0.0421	7.3			10 % 粒径 D_{10} mm	0.0692
	0.0267	6.0			均等係数 U_c	4.05
	0.0155	4.8			曲率係数 U_c'	1.14
	0.0110	3.6			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.668
	0.00777	2.4			使用した分散剤	
	0.00390	1.2			溶液濃度、溶液添加量	
	0.00159	1.2				



特記事項

JIS A 1210 JGS 0711	突固めによる土の締固め試験 (測定)	
------------------------	--------------------	--

調査件名 水中基礎のサクシヨン効果に関する遠心実験

試験年月日

試料番号 (深さ) 江戸崎砂

試験者 桑野 浩

試験方法		A-c	土質名称				
試験の準備方法	試料の使用方法	乾燥法、湿潤法	ランマー質量 kg	2.5	モールド	内径 cm	10.00
		繰返し法、非繰返し法	落下高さ cm	30		高さ ¹⁾ cm	12.73
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25		容量 V cm ³	1000
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層	3		質量 m_1 g	1775
測定 No.		1	2	3	4		
(試料+モールド) 質量 m_2 ²⁾ g		3324	3454	3586	3630		
湿潤密度 ρ_t g/cm ³		1.549	1.679	1.811	1.855		
平均含水比 w %		3.6	8.6	14.0	17.9		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.495	1.546	1.589	1.573		
含水比	容器 No.	311	300	306	303		
	m_a g	84.9	99.9	97.0	96.9		
	m_b g	82.2	92.4	86.5	83.1		
	m_c g	10.0	10.2	10.4	10.5		
	w %	3.7	9.1	13.9	18.9		
	容器 No.	307	309	305	302		
	m_a g	91.2	94.4	99.2	98.5		
	m_b g	88.4	88.1	88.1	85.7		
	m_c g	10.2	10.1	10.0	10.3		
	w %	3.6	8.1	14.1	17.0		
測定 No.		5	6	7	8		
(試料+モールド) 質量 m_2 ²⁾ g		3660	3683				
湿潤密度 ρ_t g/cm ³		1.885	1.908				
平均含水比 w %		23.3	29.8				
乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.528	1.470				
含水比	容器 No.	308	313				
	m_a g	97.1	94.8				
	m_b g	80.7	75.3				
	m_c g	10.1	9.9				
	w %	23.3	29.8				
	容器 No.	316	304				
	m_a g	93.4	99.5				
	m_b g	77.6	79.0				
	m_c g	10.1	10.3				
	w %	23.4	29.8				

特記事項

- 1) 内径 15 cm のモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。
2) モールドの質量は底板を含む。

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + w/100}$$

JIS A 1210	突固めによる土の締固め試験（締固め特性）	
JGS 0711		

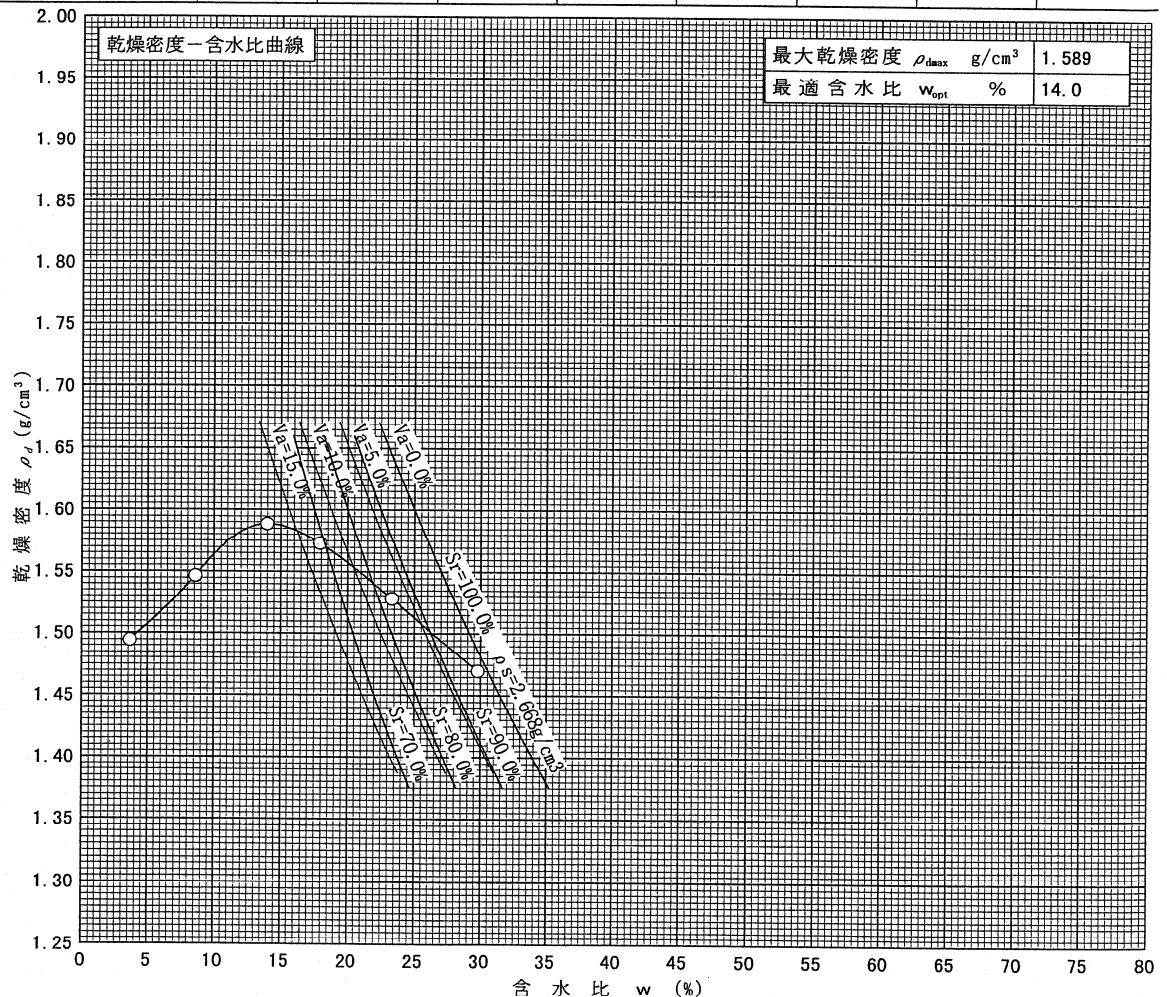
調査件名 水中基礎のサクション効果に関する遠心実験

試験年月日

試料番号（深さ） 江戸崎砂

試験者 桑野 浩

試験方法	A-c		土質名称					
試料の準備方法	~~乾燥法~~ 湿潤法		ランマー質量 kg	2.5	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.668		
試料の使用法	~~繰返し法~~ 非繰返し法		落下高さ cm	30	試料調製前の最大粒径 mm			
含水比	試料分取後 w_0 %		突固め回数 回/層	25	モールド	内径 cm	10.00	
	乾燥処理後 w_1 %		突固め層数 層	3		高さ ¹⁾ cm	12.73	
測定 No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均含水比 w %	3.6	8.6	14.0	17.9	23.3	29.8		
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.495	1.546	1.589	1.573	1.528	1.470		



特記事項

1)内径15cmのモールドの場合はスペーサーディスクの高さを差引く。

ゼロ空気間隙曲線の計算式

$$\rho_{dssl} = \frac{\rho_w}{\rho_w / \rho_s + w / 100}$$

2.2 透水試験結果

変水位法による透水試験結果を表 5.2-1 の一覧表に整理する他，締固め度D値と透水係数の関係を図 5.2-1 に示した．

透水係数は，常用対数軸上で締固め度が大きくなるにつれて直線的に減少している．

また，CASE6 及び CASE7 の地盤作製時締固め度は， $D=105\%$ であるので，遠心载荷実験時の 15°C に対する透水係数は約 $k_{15}=1.30\times 10^{-4}(\text{cm/sec})$ 程度と推定される．

表 5.2-1 透水性地盤材料（江戸崎砂）の変水位透水試験結果一覧表

試験 No.	乾燥密度 $\rho_d (\text{g/cm}^3)$	締固め度 D (%)	透水係数 $k_{15} (\text{cm/s})$
1	1.511	95.1	9.63×10^{-4}
2	1.592	100.2	3.96×10^{-4}
3	1.672	105.2	1.30×10^{-4}

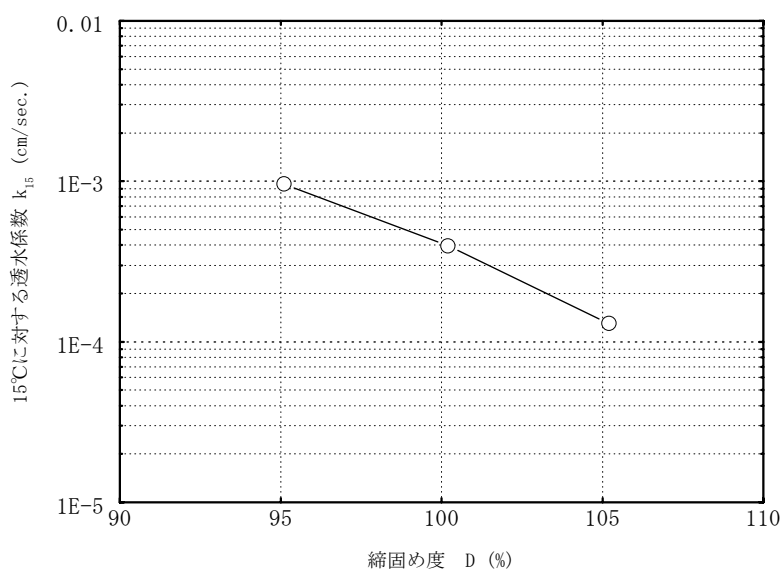


図 5.2-1 透水性地盤材料(江戸崎砂)の変水位透水試験結果

JIS A 1218	土の透水試験(定水位,変水位)
JGS 0311	

調査件名 水中基礎のサクシオン効果に関する遠心実験

試験年月日

試料番号(深さ) 締め固め度95%

試験者 桑野 浩

試料	土質名称		透水円筒	容器 No.	
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.668		長さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm	5.02		質量 m_b ²⁾ g	2031.00
	断面積 a cm ²	19.79		試験用水	

供試体作製,
飽和方法

供試体寸法	供試体 No.	1	供試体の状態		試験前	試験後 ³⁾
	直径 D_{cm}	10.00		(供試体+透水円筒)質量 m g	3752	3912
	断面積 A cm ²	78.54		供試体質量 $m = m_1 - m_b$ g	1721	1881
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_t = m/V$ g/cm ³	1.721	1.881
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = \rho_t / (1 + w/100)$ g/cm ³	1.511	1.512
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$	0.765	0.765
				飽和度 $S_r = w\rho_s / (e\rho_w)$ %	48.4	85.3

含水比		試験前			試験後 ³⁾		
	容器 No.	1364	1367	1362	908		
	m_a g	39.06	48.74	49.35	1854.35		
	m_b g	35.43	43.97	44.48	1505.06		
	m_c g	9.40	9.44	9.54	76.52		
	w, w_f %	13.9	13.8	13.9	24.5		
	平均値 %	13.9			24.5		

測 定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1		09:30:00	09:35:00	09:40:00	09:45:00	09:50:00
測定終了時刻 t_2		09:35:00	09:40:00	09:45:00	09:50:00	09:55:00
測 定 時 間 $t_2 - t_1$ s		300	300	300	300	300
定水位	水 位 差 h cm					
	透 水 量 Q cm ³					
	$T^{\circ}\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{(4)}$ cm / s					
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm	189.13	171.03	155.43	141.13	128.83
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm	171.03	155.43	141.13	128.83	117.73
	$T^{\circ}\text{C}$ に対する透水係数 $k_T^{(5)}$ cm / s	1.08E-3	1.02E-3	1.03E-3	9.75E-4	9.64E-4
測 定 時 の 水 温 T $^{\circ}\text{C}$		17	17	17	17	17
温 度 補 正 係 数 η_T/η_{15}		0.950	0.950	0.950	0.950	0.950
15 $^{\circ}\text{C}$ に対する透水係数 k_{15} cm / s		1.02E-3	9.72E-4	9.81E-4	9.27E-4	9.16E-4
代 表 値 k_{15} cm / s		9.63E-4				

特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \cdot \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

~~JIS A 1218~~	土の透水試験 (定水位, 変水位)	
~~JGS 0311~~		

調査件名 水中基礎のサクション効果に関する遠心実験

試験年月日

試料番号 (深さ) 締め固め度100%

試験者 桑野 浩

試料	土質名称		透水円筒	容器 No.	
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.668		長さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm	5.02		質量 m_b ²⁾ g	2034.00
	断面積 a cm ²	19.79		試験用水	

供試体作製,
飽和方法

供試体寸法	供試体 No.	1	供試体の状態		試験前	試験後 ³⁾
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水円筒)質量 m g	3846	4008
	断面積 A cm ²	78.54		供試体質量 $m = m_1 - m_b$ g	1812	1974
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_i = m/V$ g/cm ³	1.812	1.974
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = \rho_i / (1 + w/100)$ g/cm ³	1.592	1.591
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$	0.676	0.677
				飽和度 $S_r = w\rho_s / (e\rho_w)$ %	54.7	95.0

含水比		試験前			試験後 ³⁾	
	容器 No.	1338	1340	1352	908	
	m_a g	45.21	49.47	52.36	1912.44	
	m_b g	40.88	44.60	47.10	1555.96	
	m_c g	9.42	9.48	9.44	76.52	
	w, w_f %	13.8	13.9	14.0	24.1	
	平均値 %	13.9			24.1	

測定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻	t_1	10:00:00	10:10:10	10:20:00	10:30:00	10:40:00
	t_2	10:10:10	10:20:00	10:30:00	10:40:00	10:50:00
	測定時間 $t_2 - t_1$ s	610	590	600	600	600
定水位	水位差 h cm					
	透水量 Q cm ³					
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_T ⁴⁾ cm/s					
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm	189.13	174.03	161.13	149.53	139.03
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm	174.03	161.13	149.53	139.03	129.43
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_T ⁵⁾ cm/s	4.38E-4	4.19E-4	4.00E-4	3.89E-4	3.83E-4
測定時の水温 T $^\circ\text{C}$		16	16	16	16	16
温度補正係数 η_T / η_{15}		0.975	0.975	0.975	0.975	0.975
15 $^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_{15} cm/s		4.27E-4	4.08E-4	3.90E-4	3.80E-4	3.73E-4
代表値 k_{15} cm/s		3.96E-4				

特記事項

1) 変水位試験の場合

2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。

3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$

JIS A 1218	土の透水試験(定水位, 変水位)	
JGS 0311		

調査件名 水中基礎のサクシヨン効果に関する遠心実験 試験年月日

試料番号(深さ) 締め固め度105% 試験者 桑野 浩

試料	土質名称		透水円筒	容器 No.	
	最大粒径 mm			内径 D_m cm	10.00
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.668		長さ L_m cm	12.73
スタンドパイプ ¹⁾	内径 cm	5.02		質量 m_t ²⁾ g	2021.00
	断面積 a cm ²	19.79		試験用水	

供試体作製, 飽和方法

供試体寸法	供試体 No.	1	供試体の状態		試験前	試験後 ³⁾
	直径 D cm	10.00		(供試体+透水円筒)質量 m g	3924	4066
	断面積 A cm ²	78.54		供試体質量 $m = m_t - m_b$ g	1903	2045
	長さ L cm	12.73		湿潤密度 $\rho_i = m/V$ g/cm ³	1.903	2.045
	体積 V cm ³	999.81		乾燥密度 $\rho_d = \rho_i / (1 + w/100)$ g/cm ³	1.672	1.673
				間隙比 $e = (\rho_s / \rho_d) - 1$	0.596	0.595
				飽和度 $S_r = w\rho_s / (e\rho_w)$ %	62.0	99.9

含水比		試験前			試験後 ³⁾	
	容器 No.	1343	1322	1362	1911	
	m_a g	44.74	51.39	46.39	1946.19	
	m_b g	40.49	46.22	41.91	1606.15	
	m_s g	9.44	9.37	9.54	79.63	
	w, w_f %	13.7	14.0	13.8	22.3	
	平均値 %	13.9			22.3	

測定 No.		1	2	3	4	5
測定開始時刻 t_1		13:00:00	13:20:00	13:40:00	14:00:00	14:20:00
測定終了時刻 t_2		13:20:00	13:40:00	14:00:00	14:20:00	14:40:00
測定時間 $t_2 - t_1$ s		1200	1200	1200	1200	1200
定水位	水位差 h cm					
	透水量 Q cm ³					
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_T ⁴⁾ cm/s					
変水位	時刻 t_1 における水位差 h_1 cm	189.13	179.43	170.53	162.23	154.63
	時刻 t_2 における水位差 h_2 cm	179.43	170.53	162.23	154.63	147.53
	$T^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_T ⁵⁾ cm/s	1.41E-4	1.36E-4	1.33E-4	1.28E-4	1.26E-4
測定時の水温 T $^\circ\text{C}$		16	16	16	16	16
温度補正係数 η_T / η_{15}		0.975	0.975	0.975	0.975	0.975
15 $^\circ\text{C}$ に対する透水係数 k_{15} cm/s		1.37E-4	1.33E-4	1.30E-4	1.25E-4	1.23E-4
代表値 k_{15} cm/s		1.30E-4				

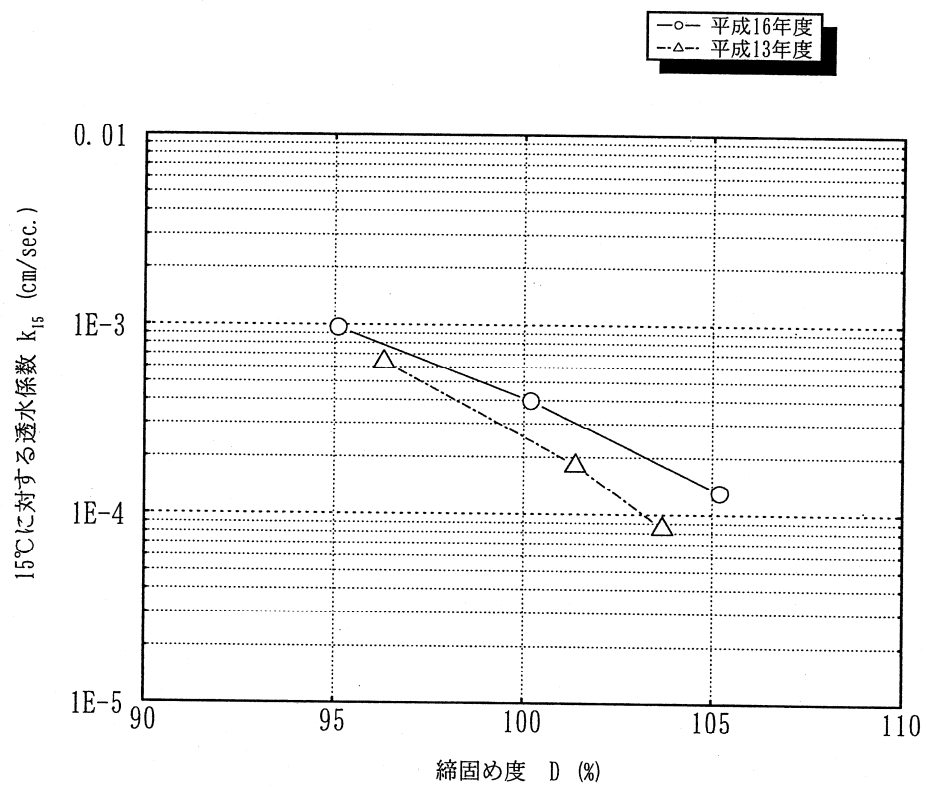
特記事項

- 1) 変水位試験の場合
- 2) 透水円筒, 底板, シール材などを含む。
- 3) 保水性の小さい試料は測定を省いてよい。

$$4) k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

$$5) k_T = 2.303 \cdot \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$k_{15} = k_T \cdot \eta_T / \eta_{15}$$



透水性地盤材料（江戸崎砂）の編水位送水試験結果

2.3 せん断試験結果

(1) 圧密非排水(CU)三軸圧縮試験

江戸崎砂の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験の結果を表 5.3-1 の一覧表に整理する他、応力－ひずみ曲線とモール応力円を図 5.3-1～5.3-3 に示した。

同表に示したように、江戸崎砂の締固め度 $D=105\%$ における有効応力表示のせん断抵抗角は $\phi'=36.2^\circ$ である。

供 試 体 番 号			1	2	3	4 (LDT)
物 理 特 性	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.668			
	含 水 比 w (%)		14.5	14.4	14.6	14.5
	粒 度 特 性	礫 分 (%)	0.0			
		砂 分 (%)	88.9			
		シルト分 (%)	9.7			
		粘 土 分 (%)	1.4			
		50% 粒径 D_{50} mm	0.23			
		均等係数 U_c	4.05			
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)		1.589				
初 期 状 態	湿潤密度 ρ_{t0} (g/cm ³)		1.891	1.881	1.893	1.893
	乾燥密度 ρ_{d0} (g/cm ³)		1.651	1.643	1.652	1.653
	間隙比 e_0		0.616	0.624	0.615	0.614
	締固め度 D_0 値 (%)		103.9	103.4	104.0	104.0
圧 密 後	乾燥密度 ρ_{dc} (g/cm ³)		1.669	1.665	1.690	1.679
	間隙比 e_c		0.599	0.602	0.579	0.589
	締固め度 D_c 値 (%)		105.0	104.8	106.4	105.7
圧 密 応 力 σ'_c (kN/m ²)			100	200	400	200
間 隙 水 圧 係 数 B 値			0.95	1.00	0.99	1.00
三 軸 圧 縮 試 験 結 果	排水条件		$\overline{CU}$			
	破壊ひずみ ε_f (%)		14.97	13.93	12.71	11.46
	主応力差最大時 圧縮強さ $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ (kN/m ²)		1005.8	1078.3	1291.9	1138.3
	全 応 力	粘着力 c_{cu} (kN/m ²)	319.9			－
		せん断抵抗角 ϕ_{cu} (度)	19.1			－
	有 効 応 力	粘着力 c' (kN/m ²)	0			－
		せん断抵抗角 ϕ' (度)	36.2			－
備 考						軸ひずみは LDTで測定

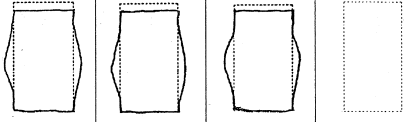
供 試 体 番 号			D105	D105US
供試体の状態			飽和	不飽和
目 標 D 値 (%)			105	
物 理 特 性	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.668	
	含 水 比 ω (%)		13.9	14.7
	粒 度 特 性	礫 分 (%)	0.0	
		砂 分 (%)	88.9	
		シルト分 (%)	9.7	
		粘 土 分 (%)	1.4	
		50% 粒径 D_{50} mm	0.23	
		均等係数 U_c	4.05	
締固め試験による最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)			1.589	
初 期 状 態	湿潤密度 ρ_{t0} (g/cm ³)	1.881	1.895	
	乾燥密度 ρ_{d0} (g/cm ³)	1.652	1.653	
	締固め度 D_0 値 (%)	104	104	
	間隙比 e_0	0.615	0.614	
圧 密 後	乾燥密度 ρ_{dc} (g/cm ³)	1.686	1.685	
	締固め度 D_c 値 (%)	1.061	106.000	
	間隙比 e_c	0.582	0.583	
圧 密 応 力 σ'_c (kN/m ²)			200	200
初期等価ヤング率 E_0 (MN/m ²)			300	262
載荷周波数 (Hz)			0.1	0.1
備 考				

三軸圧縮試験 [CU, $\overline{\text{CU}}$, CD] (応力-ひずみ曲線)

調査件名 砂質土地盤における水中基礎のサクシヨン効果に関する遠心実験 試験年月日

試料番号 (深さ)

試験者

土質名称	供試体 No.	1	2	3	4
荷重計容量 kN	500	圧密応力 kN/m^2	100.0	200.0	400.0
間隙水圧計容量 kN/m^2	980	主軸圧縮強さ $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{max}}$ kN/m^2	1005.8	1078.3	1291.9
ひずみ速度 %/min	0.1	軸ひずみ ϵ_f %	14.97	13.93	12.71
特記事項	主軸力差最大時	間隙水圧 Δu_f kN/m^2	-251.2	-182.1	-41.0
		σ_{3f}' kN/m^2	338.5	381.0	441.2
		σ_{1f}' kN/m^2	1344.3	1459.4	1733.1
		体積ひずみ v_f %			
	CD	間隙比 e_f			
供試体の破壊状況					

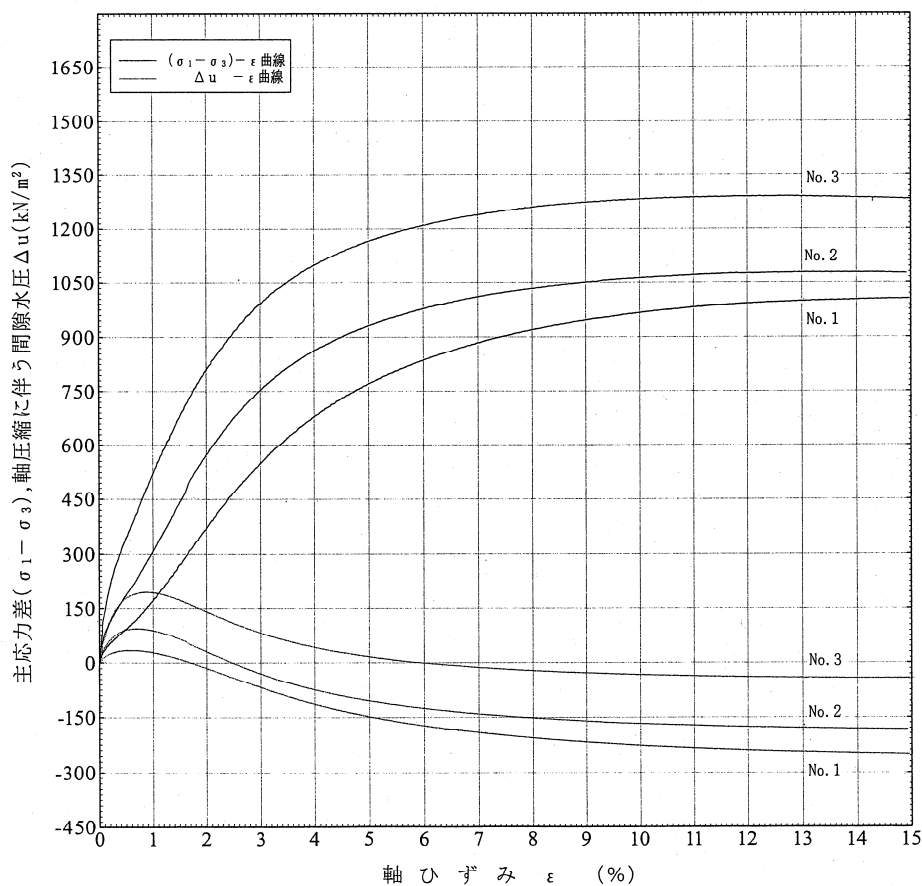


図5.3-1 江戸崎砂の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験結果 (応力-ひずみ曲線)

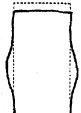
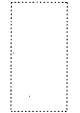
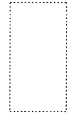
PAGE 108

	三軸圧縮試験 [CU, $\overline{\text{CU}}$, CD] (応力-ひずみ曲線)	
--	---	--

調査件名 砂質土盤における水中基礎のサクション効果に関する遠心実験 試験年月日

試料番号 (深さ)

試験者

土質名称	供試体 No.	1	2	3	4
荷重計容量 kN	500	圧密応力 kN/m^2	200.0		
間隙水圧計容量 kN/m^2	980	主圧力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ kN/m^2	1138.3		
ひずみ速度 %/min	0.1	軸ひずみ ϵ_f %	11.46		
特記事項	主圧力差最大時	CU 間隙水圧 Δu_f kN/m^2	-193.8		
		σ_{3f}' kN/m^2	393.7		
		σ_{1f} kN/m^2	1532.0		
		CD 体積ひずみ v_f %			
		間隙比 e_f			
供試体の破壊状況					

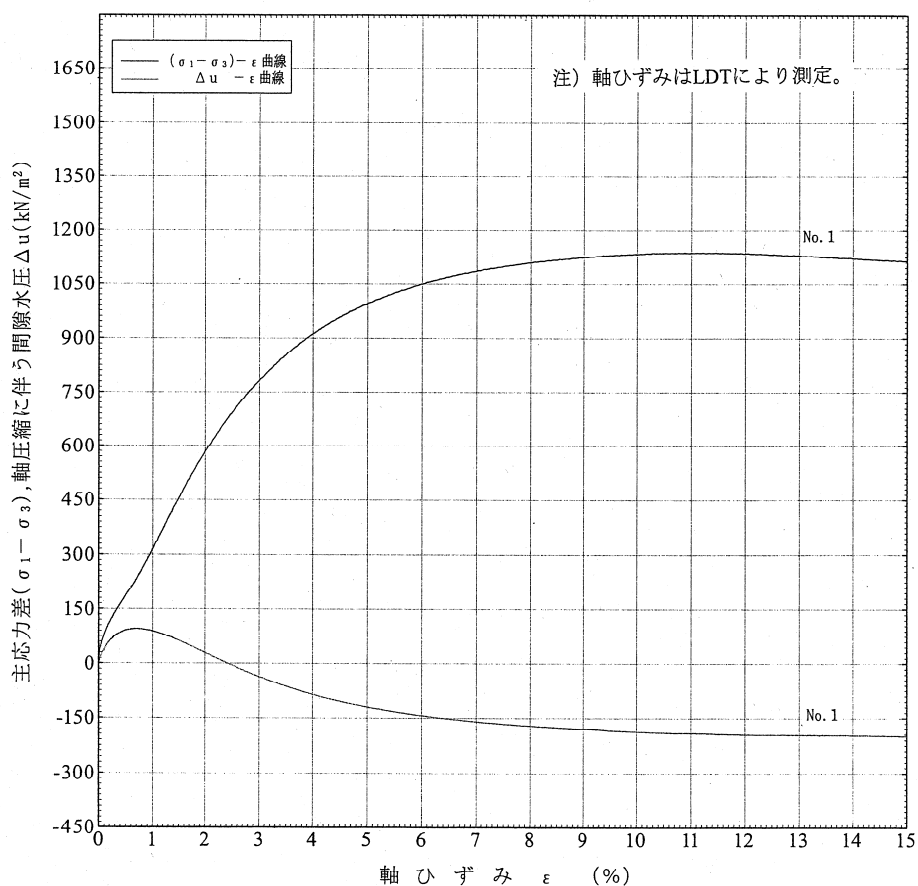


図5.3-2 江戸崎砂の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験結果 (応力-ひずみ曲線)

PAGE 109

三軸圧縮試験 [UU, CU, $\overline{CU}$, CD](強度特性)

調査件名 砂質土地盤における水中基礎のサクション効果に関する遠心実験 試験年月日

試料番号

試験者

強度定数 応力範囲	全 応 力			有 効 応 力	
	c kN/m ²	ϕ °	tan ϕ	c' kN/m ²	ϕ' °
正規圧密領域	319.9	19.1	0.346	0	36.2
過圧密領域					

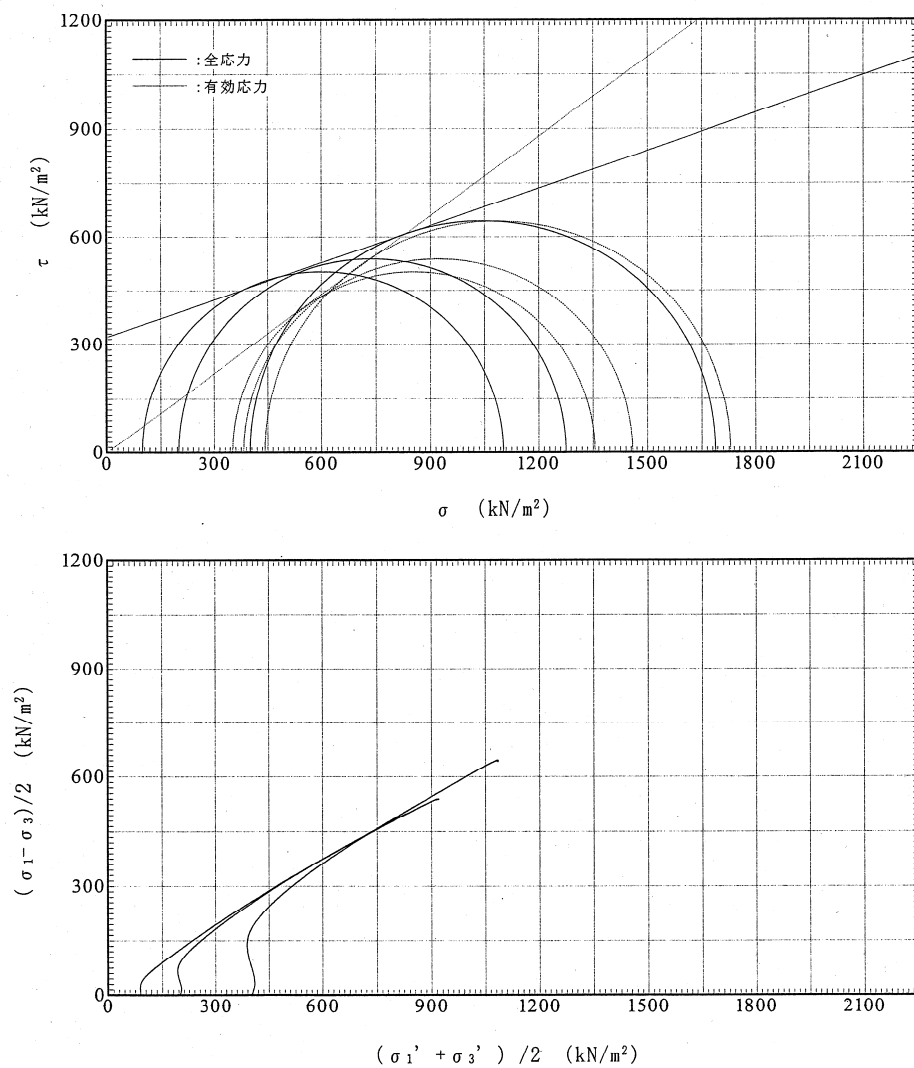


図5.3-3 江戸崎砂の圧密非排水($\overline{CU}$)三軸圧縮試験結果 (強度特性 モール応力円)

(2) 変形特性を求めるための繰返し三軸試験（動的変形試験）結果

動的変形試験の結果として E (等価ヤング率), h (減衰定数), E/E_0 (正規化した等価ヤング率) - γ (せん断ひずみ)の関係を図 5.3-4~5 に示すとともに, 供試体の諸元と試験結果をそれぞれ表 5.3-2 及び表 5.3-3(a),(b)の一覧表に整理した. これらの図には, 圧密非排水(CU)三軸圧縮試験の結果から求めた変形特性の結果も合わせて示してある.

繰返し三軸試験による初期ヤング率は, 飽和土で $E_0=300\text{MN/m}^2$, 不飽和土で $E_0=262\text{MN/m}^2$ と若干の違いが見受けられた. ただし, 等価ヤング率を正規化すると両者の変形特性は, ほぼ一致するようになる.

一方, 圧密非排水(CU)三軸圧縮試験による初期ヤング率は, 飽和土とほぼ同じであった.

ただし, 変形特性すなわち等価ヤング率のひずみ依存性には, 静的の三軸圧縮試験と動的の繰返し三軸試験でかなり異なった傾向が見受けられる. これは, 静的載荷と動的載荷の違いにより, 荷重増加に伴って供試体内部に発生するクラックの発達状況がすなわち破壊形態が異なるため, 変形特性に差が現れたものと考えられる.

なお, 動的変形試験において各荷重ステップの応力-ひずみ曲線（履歴曲線）を巻末の資料集に添付した.

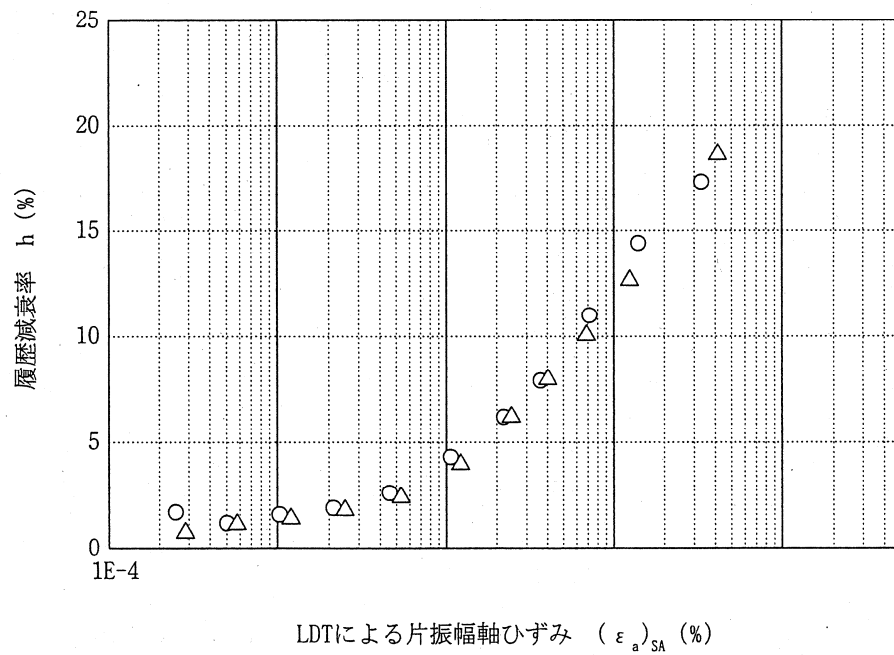
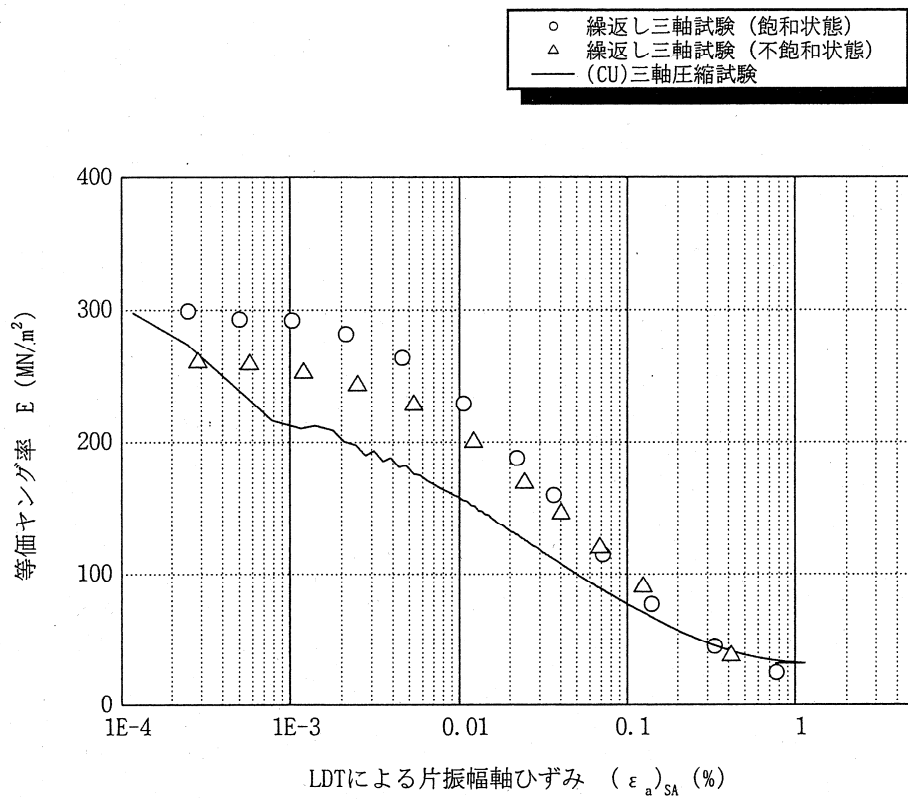
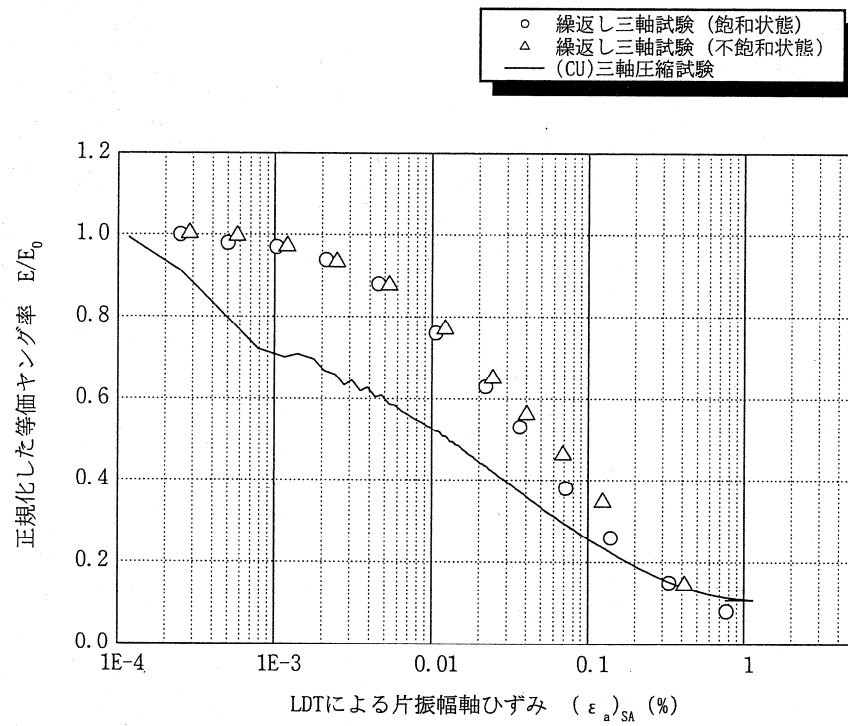


図5.3-4 繰返し三軸試験結果 ($E, h \sim (\varepsilon_a)_{SA}$ 曲線)



- ・ 試料 No. D105
- ・ 圧密圧力 $\sigma'_c = 200 \text{ kN/m}^2$
- ・ 初期ヤング率 $E_0 = 300 \text{ MN/m}^2$

STEP	サイクル	LDTによる片振幅軸ひずみ (ε_a) _{SA} (%)		等価ヤング率 E (MN/m ²)		履歴減衰率 h (%)		正規化等価ヤング率 E/E ₀	
		各サイクル	平均	各サイクル	平均	各サイクル	平均	各サイクル	平均
1	5波目	2.51E-04	2.51E-04	298	299	1.9	1.7	0.99	1.00
	10波目	2.50E-04		300		1.4		1.00	
2	5波目	5.04E-04	5.02E-04	292	293	1.1	1.2	0.97	0.98
	10波目	5.00E-04		294		1.3		0.98	
3	5波目	1.03E-03	1.03E-03	292	292	1.6	1.6	0.97	0.97
	10波目	1.02E-03		291		1.5		0.97	
4	5波目	2.12E-03	2.13E-03	282	282	2.0	1.9	0.94	0.94
	10波目	2.13E-03		282		1.8		0.94	
5	5波目	4.54E-03	4.56E-03	265	264	2.7	2.6	0.88	0.88
	10波目	4.57E-03		263		2.5		0.88	
6	5波目	1.05E-02	1.06E-02	230	229	4.5	4.3	0.77	0.76
	10波目	1.06E-02		228		4.1		0.76	
7	5波目	2.18E-02	2.21E-02	190	188	6.4	6.2	0.63	0.63
	10波目	2.23E-02		186		5.9		0.62	
8	5波目	3.56E-02	3.65E-02	163	160	8.2	7.9	0.54	0.53
	10波目	3.73E-02		156		7.6		0.52	
9	5波目	6.81E-02	7.17E-02	120	115	11.1	11.0	0.40	0.38
	10波目	7.52E-02		109		10.9		0.36	
10	5波目	1.23E-01	1.40E-01	86	77	14.1	14.4	0.29	0.26
	10波目	1.56E-01		68		14.6		0.23	
11	5波目	2.45E-01	3.31E-01	57	45	16.9	17.3	0.19	0.15
	10波目	4.16E-01		33		17.6		0.11	
12	5波目	5.69E-01	7.74E-01	32	25	16.8	16.4	0.11	0.08
	10波目	9.79E-01		18		16.0		0.06	

- ・試料 No. D105US
- ・圧密圧力 $\sigma_c' = 200 \text{ kN/m}^2$
- ・初期ヤング率 $E_0 = 262 \text{ MN/m}^2$

STEP	サイクル	LDTによる片振幅軸ひずみ (ε_a) _{SA} (%)		等価ヤング率 E (MN/m ²)		履歴減衰率 h (%)		正規化等価ヤング率 E/E ₀	
		各サイクル	平均	各サイクル	平均	各サイクル	平均	各サイクル	平均
1	5波目	2.85E-04	2.87E-04	262	261	1.1	0.8	1.01	1.00
	10波目	2.89E-04		259		0.4		1.00	
2	5波目	5.79E-04	5.77E-04	259	259	1.1	1.2	1.00	1.00
	10波目	5.75E-04		259		1.2		1.00	
3	5波目	1.18E-03	1.20E-03	253	253	1.4	1.4	0.97	0.97
	10波目	1.22E-03		252		1.4		0.97	
4	5波目	2.48E-03	2.49E-03	243	243	1.8	1.8	0.93	0.93
	10波目	2.49E-03		243		1.8		0.93	
5	5波目	5.31E-03	5.33E-03	229	228	2.5	2.4	0.88	0.88
	10波目	5.34E-03		227		2.3		0.87	
6	5波目	1.21E-02	1.22E-02	201	200	4.1	4.0	0.77	0.77
	10波目	1.22E-02		199		3.8		0.77	
7	5波目	2.44E-02	2.45E-02	170	169	6.5	6.2	0.65	0.65
	10波目	2.46E-02		168		5.9		0.65	
8	5波目	4.03E-02	4.04E-02	146	146	8.3	8.0	0.56	0.56
	10波目	4.04E-02		146		7.6		0.56	
9	5波目	6.92E-02	6.89E-02	119	120	10.5	10.1	0.46	0.46
	10波目	6.86E-02		121		9.6		0.47	
10	5波目	1.26E-01	1.25E-01	89	90	13.2	12.7	0.34	0.35
	10波目	1.23E-01		91		12.1		0.35	
11	5波目	4.27E-01	4.15E-01	36	38	19.3	18.6	0.14	0.14
	10波目	4.02E-01		39		17.9		0.15	
12	5波目								
	10波目								

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 (載荷過程, 波形記録)	
	土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	

調査件名 江戸崎砂 (飽和)

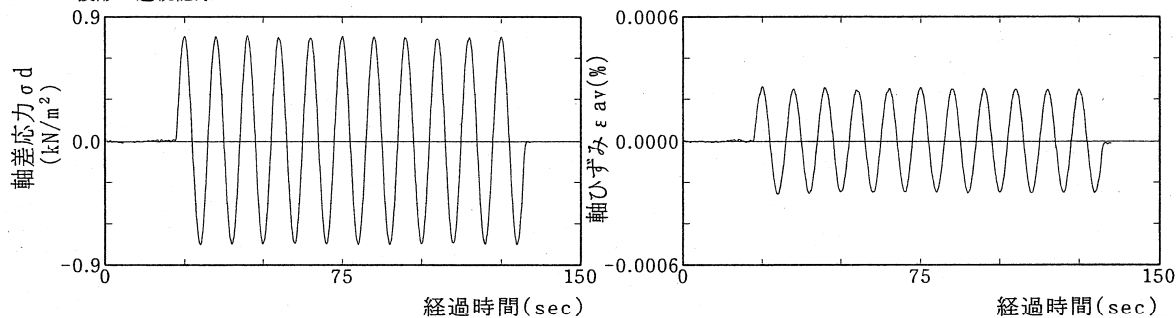
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

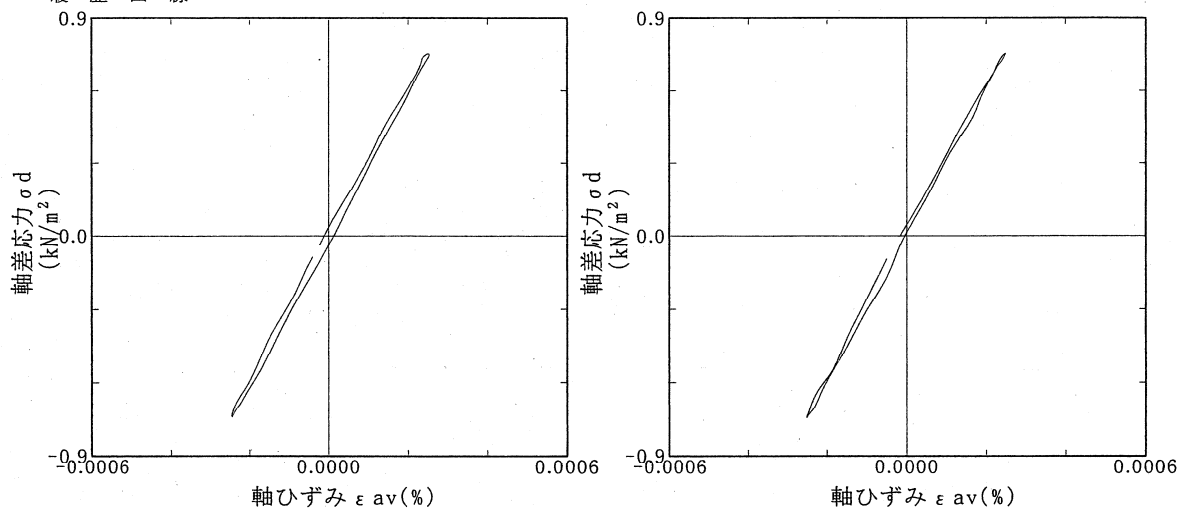
試験者

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105	載 荷 段 階	1
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$	等価ヤング率 E_{eq}	履歴減衰率 h %	
	排 水 量 ΔV_L cm ³	0.000		~~片振幅せん断応力 τ_a~~	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$	~~等価せん断剛性率 G_{eq}~~		
	高 さ H_i cm	10.164	2	0.8	0.000253	298	1.2	
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.018	3	0.8	0.000252	300	1.8	
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	0.7	0.000248	302	1.6	
	体 積 V_i cm ³	200.998	5	0.7	0.000251	298	1.9	
載 荷 後	断 面 積 A_i cm ²	19.775	6	0.8	0.000254	297	1.2	
	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	0.8	0.000252	299	1.1	
	排 水 量 ΔV_L cm ³	0.000	8	0.7	0.000251	298	1.8	
			9	0.7	0.000250	296	1.6	
			10	0.8	0.000250	300	1.4	

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	-------------

調査件名

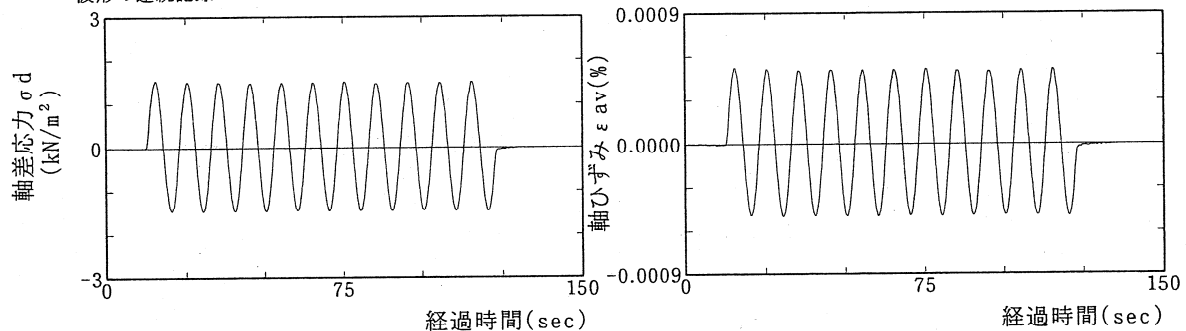
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

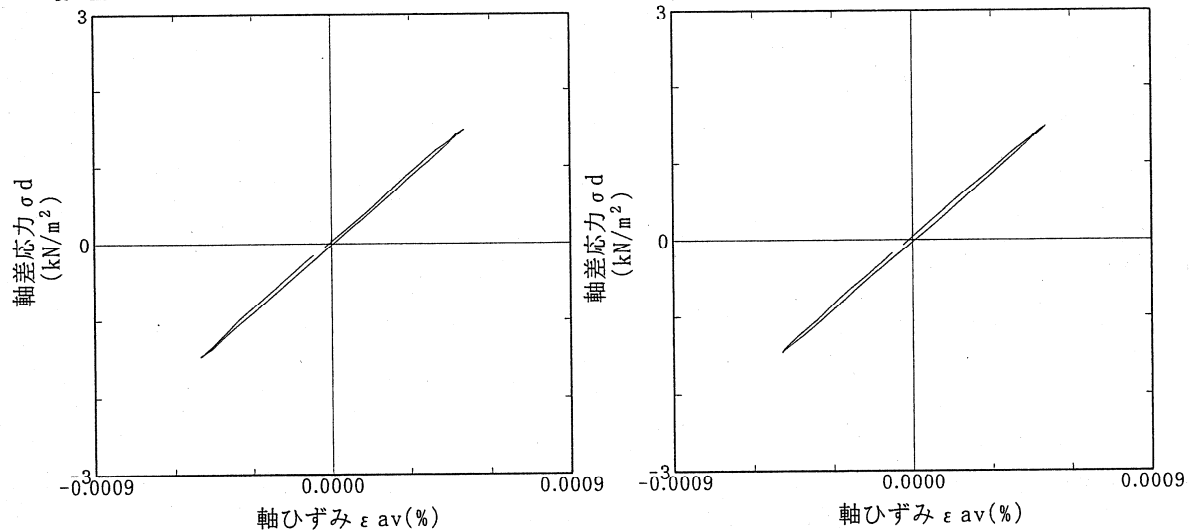
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105	載 荷 段 階	2
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		~~片振幅せん断応力 τ kN/m²~~	~~片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %~~	~~等価せん断剛性率 G_{eq}~~	
	高さ H_L cm	10.164	2	1.5	0.000506	294	1.6
	外 径 ³⁾ D_o cm	5.018	3	1.5	0.000500	295	1.5
	内 径 ³⁾ D_i cm	0.000	4	1.5	0.000503	292	1.4
	体 積 V_L cm ³	200.998	5	1.5	0.000504	292	1.1
	断 面 積 A_L cm ²	19.775	6	1.5	0.000502	294	1.4
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	1.5	0.000506	293	1.4
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	1.5	0.000498	293	1.6
			9	1.5	0.000494	297	1.3
			10	1.5	0.000500	294	1.3

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録は別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

試験年月日

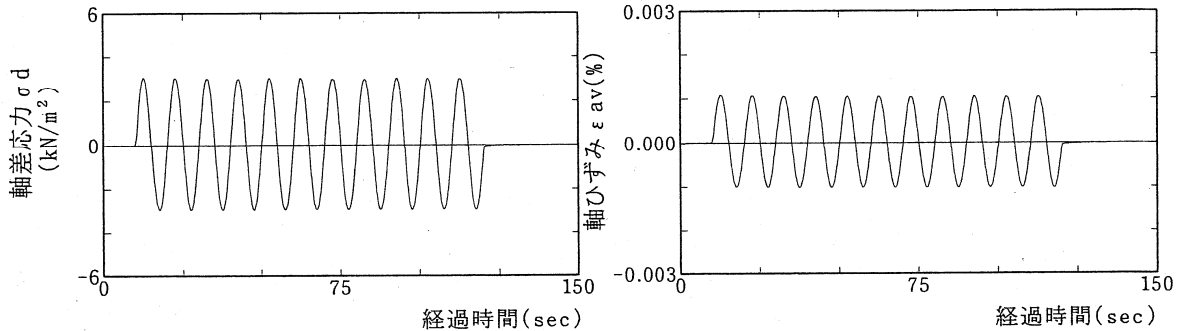
調査件名

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

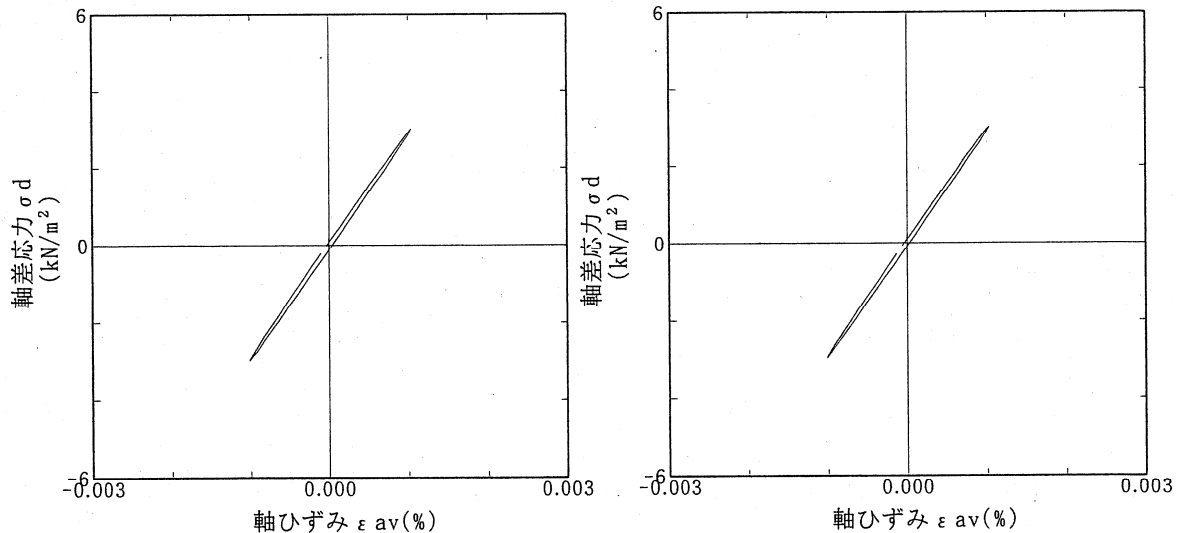
試験者

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105	載 荷 段 階	3	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		~~片振幅せん断応力 τ_a kN/m²~~	~~片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %~~	~~等価せん断剛性率 G_{eq}~~			
	高 さ H_i cm	10.164		2	3.0	0.001034		291	1.8
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.018		3	3.0	0.001034		289	1.6
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000		4	3.0	0.001030		291	1.7
	体 積 V_i cm ³	200.998		5	3.0	0.001029		292	1.6
	断 面 積 A_i cm ²	19.775		6	3.0	0.001032		290	1.5
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	3.0	0.001024	291	1.6		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	3.0	0.001023	291	1.5		
			9	3.0	0.001031	292	1.7		
			10	3.0	0.001024	291	1.5		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録は別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	-------------

調査件名

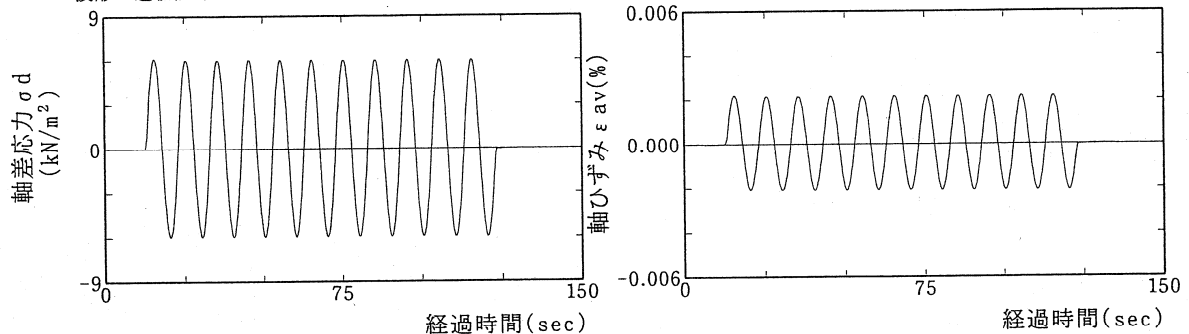
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

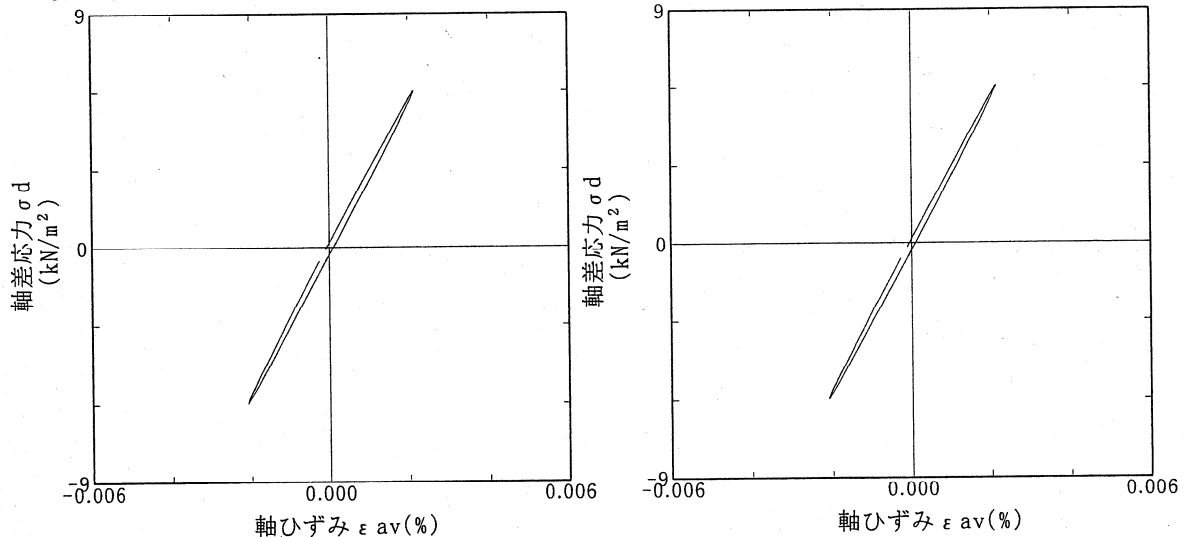
試験者

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105	載 荷 段 階	4	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル		片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ(εa) _{SA} %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000			片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ(γ_a) _{SA} %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²		
	高 さ H_L cm	10.164		2	6.0	0.002118	284		2.1
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.018		3	6.0	0.002117	283		2.1
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000		4	6.0	0.002124	282		2.0
	体 積 V_L cm ³	200.998		5	6.0	0.002124	282		2.0
	断 面 積 A_L cm ²	19.775		6	6.0	0.002123	283		1.9
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000		7	6.0	0.002123	282	1.9	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		8	6.0	0.002121	282	1.8	
				9	6.0	0.002125	282	1.8	
				10	6.0	0.002133	282	1.8	

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録は別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	-------------

調査件名

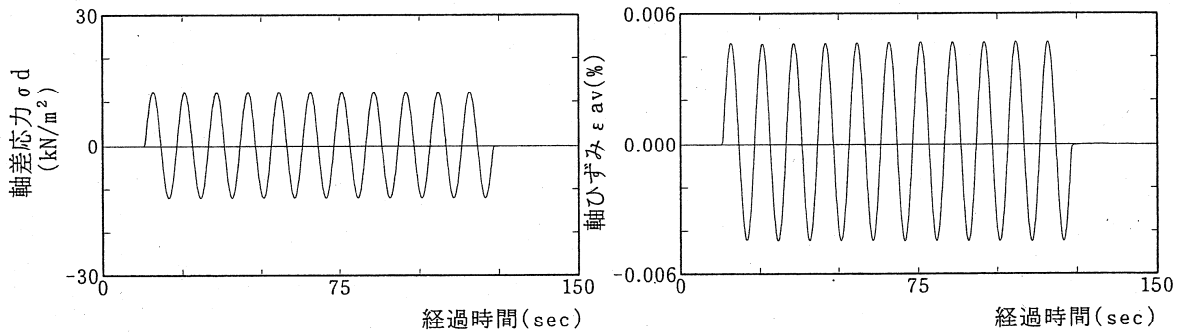
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

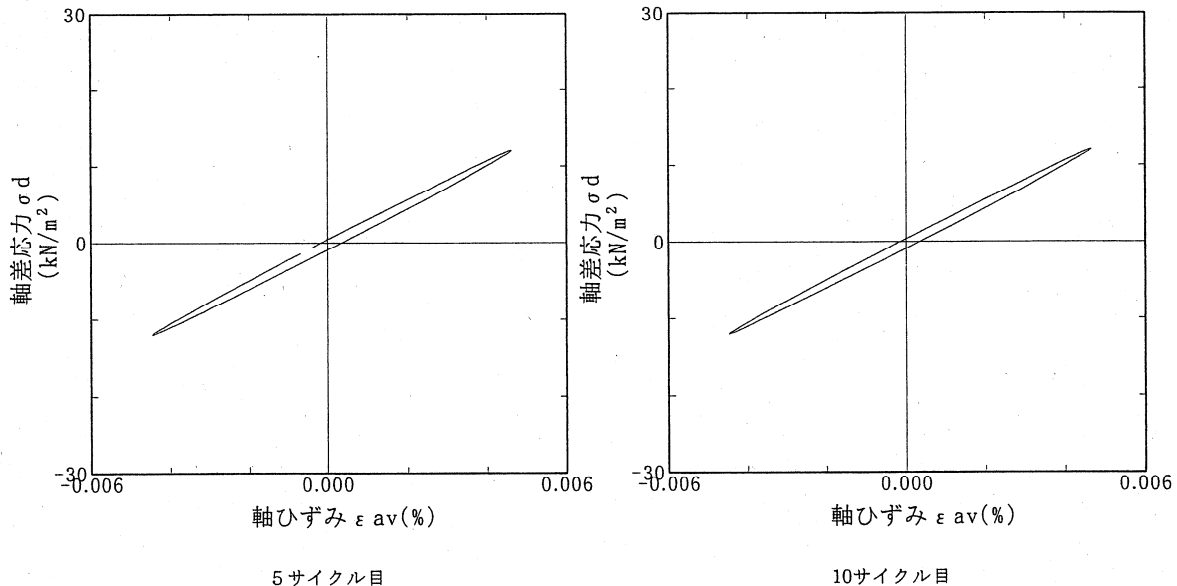
試験者

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105	載 荷 段 階	5	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_d kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		~~片振幅せん断応力 τ kN/m²~~	~~片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %~~	~~等価せん断弾性率 G_{eq}~~			
	高 さ H_i cm	10.164		2	12.0	0.004521		266	3.1
	外 径 ³⁾ D_o cm	5.018		3	12.0	0.004527		266	2.9
	内 径 ³⁾ D_i cm	0.000		4	12.0	0.004535		265	2.8
	体 積 V_i cm ³	200.998		5	12.0	0.004543		265	2.7
	断 面 積 A_i cm ²	19.775		6	12.0	0.004557		264	2.7
	載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm		0.000	7	12.0		0.004562	264
排水量 ΔV_L cm ³		0.000	8	12.0	0.004566	264	2.6		
			9	12.0	0.004567	264	2.6		
			10	12.0	0.004574	263	2.5		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録は別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

試験年月日

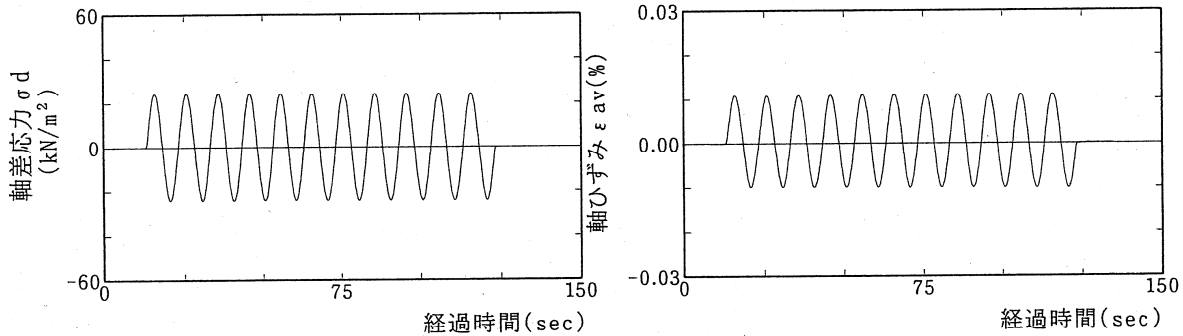
調査件名

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

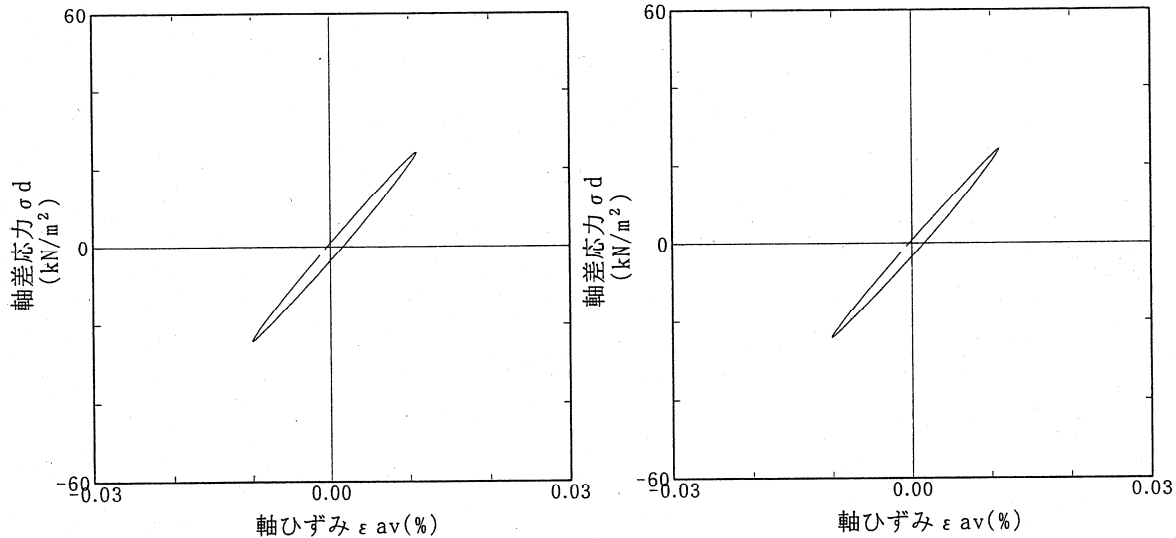
試験者

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105	載 荷 段 階	6
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_d kN/m ²	片振幅軸ひずみ(ε_{av}) _{SA} %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ kN/m ²	片振幅せん断ひずみ(γ_{av}) _{SA} %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²		
	高 さ H_L cm	10.164		2	24.2	0.010379		233
	外 径 ³⁾ D_{ex} cm	5.018		3	24.2	0.010420		232
	内 径 ³⁾ D_{in} cm	0.000		4	24.2	0.010465		231
	体 積 V_L cm ³	200.998		5	24.2	0.010502		230
載 荷 後	断 面 積 A_L cm ²	19.775	6	24.2	0.010520	230	4.4	
	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	24.2	0.010554	229	4.3	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.050	8	24.2	0.010579	228	4.3	
			9	24.2	0.010603	228	4.2	
			10	24.2	0.010620	228	4.1	

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名

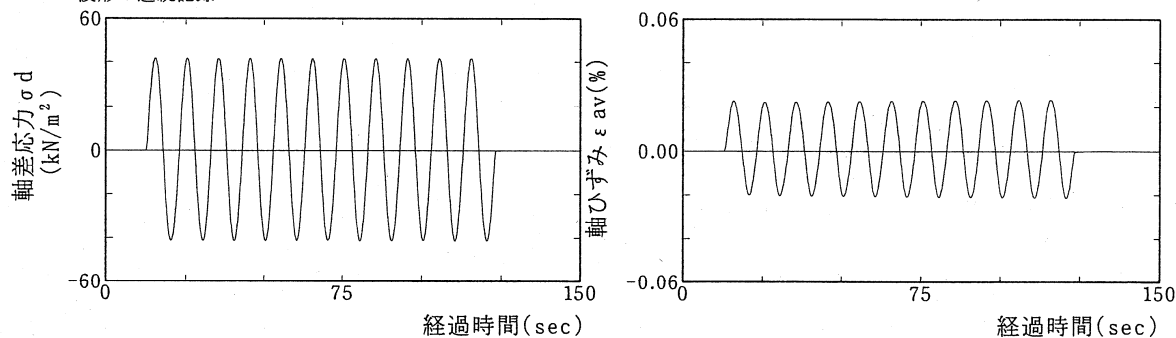
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

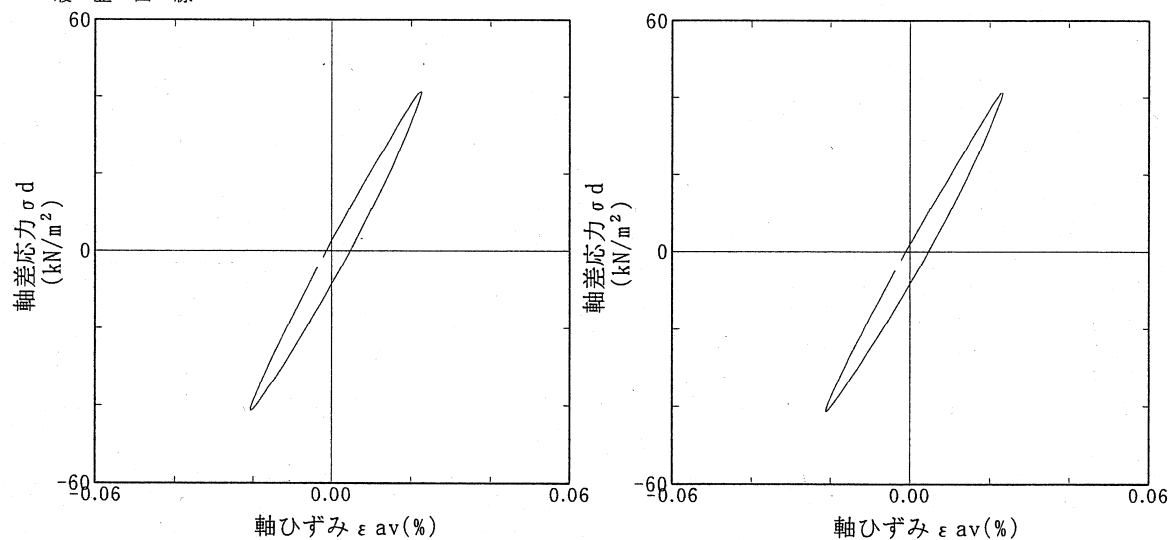
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105		載 荷 段 階		7	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.050		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²				
	高 さ H_L cm	10.164	2	41.5	0.021304	195	7.8			
	外 径 ³⁾ D_{ei} cm	5.017	3	41.4	0.021454	193	7.0			
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	41.4	0.021624	192	6.7			
	体 積 V_L cm ³	200.948	5	41.4	0.021770	190	6.4			
	断 面 積 A_L cm ²	19.770	6	41.4	0.021864	189	6.3			
	載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.005	7	41.4	0.021992	188	6.1		
排水量 ΔV_L cm ³		0.050	8	41.4	0.022112	187	6.0			
			9	41.4	0.022196	187	5.9			
			10	41.4	0.022299	186	5.9			

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

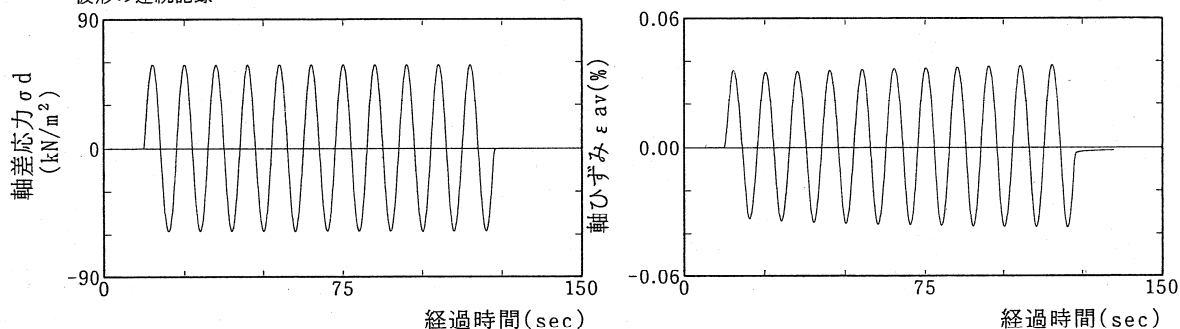
	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 (載荷過程, 波形記録)	
	土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	

調査件名 _____ 試験年月日 _____

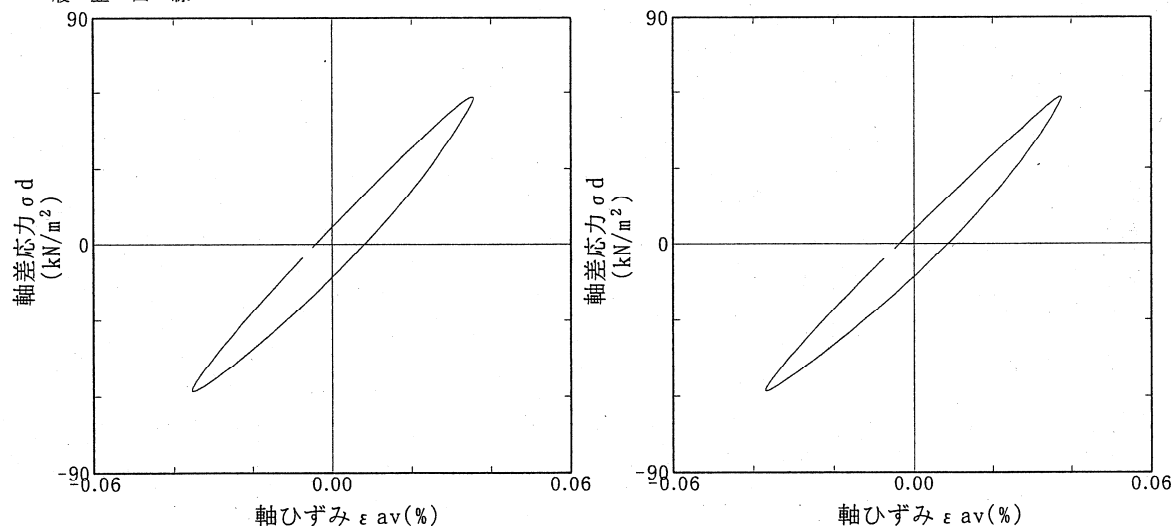
試料番号 (深さ) No. D105 (GL- _____ m ~ _____ m) 試験者 _____

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105	載 荷 段 階	8	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.005	サイクル	片振幅軸応力 σ_d kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.050		片振幅せん断応力 τ_d kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²			
	高 さ H_L cm	10.159		2	58.1	0.034616		168	10.8
	外 径 ³⁾ D_{out} cm	5.018		3	58.1	0.034630		168	9.2
	内 径 ³⁾ D_{in} cm	0.000		4	58.1	0.035113		165	8.5
	体 積 V_L cm ³	200.898		5	58.1	0.035560		163	8.2
	断 面 積 A_L cm ²	19.775		6	58.1	0.035995		161	8.0
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	58.0	0.036303	160	7.9		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.100	8	58.0	0.036639	158	7.8		
			9	58.0	0.036930	157	7.7		
			10	58.1	0.037263	156	7.6		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5 サイクル目

10 サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添付する。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≈ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≈ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

載荷過程, 波形記録)

調査件名

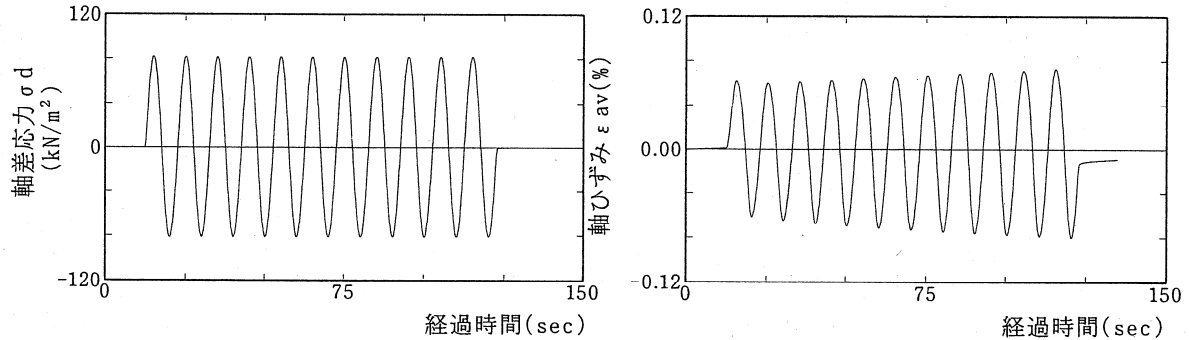
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

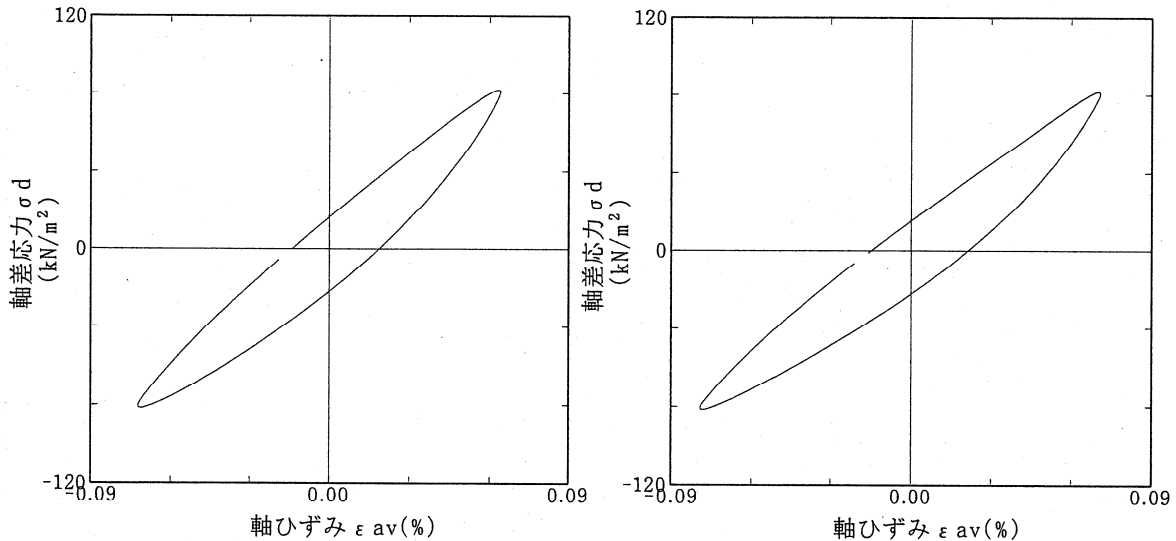
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105	載 荷 段 階	9		
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排 水 量 ΔV_L cm ³	0.100		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²			
	高 さ H_i cm	10.159		2	81.6	0.062624		130	12.1
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.017		3	81.7	0.064660		126	11.5
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000		4	81.6	0.066311		123	11.3
	体 積 V_i cm ³	200.798		5	81.6	0.068077		120	11.1
	断 面 積 A_i cm ²	19.765		6	81.6	0.069606		117	11.1
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	81.6	0.071161	115	11.0		
	排 水 量 ΔV_L cm ³	0.150	8	81.6	0.072498	113	11.0		
			9	81.6	0.073852	110	10.9		
			10	81.6	0.075177	109	10.9		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	（載荷過程, 波形記録）
--	--------------

調査件名

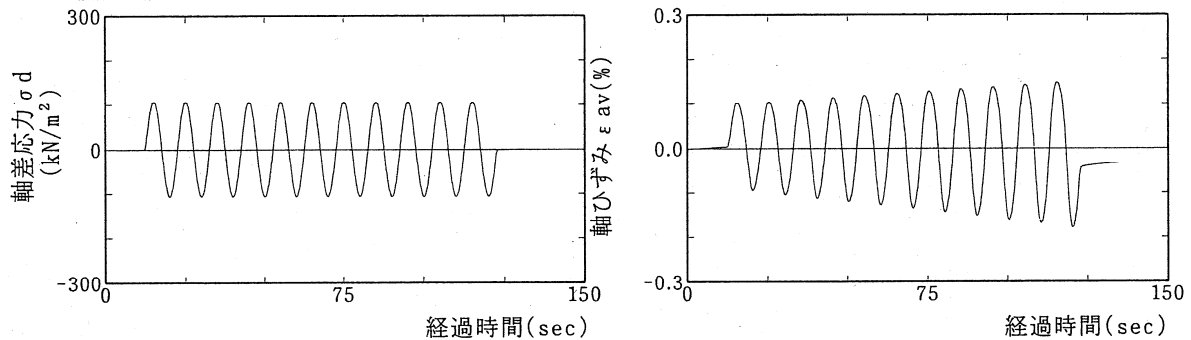
試験年月日

試料番号（深さ）No. D105 (GL- m～ m)

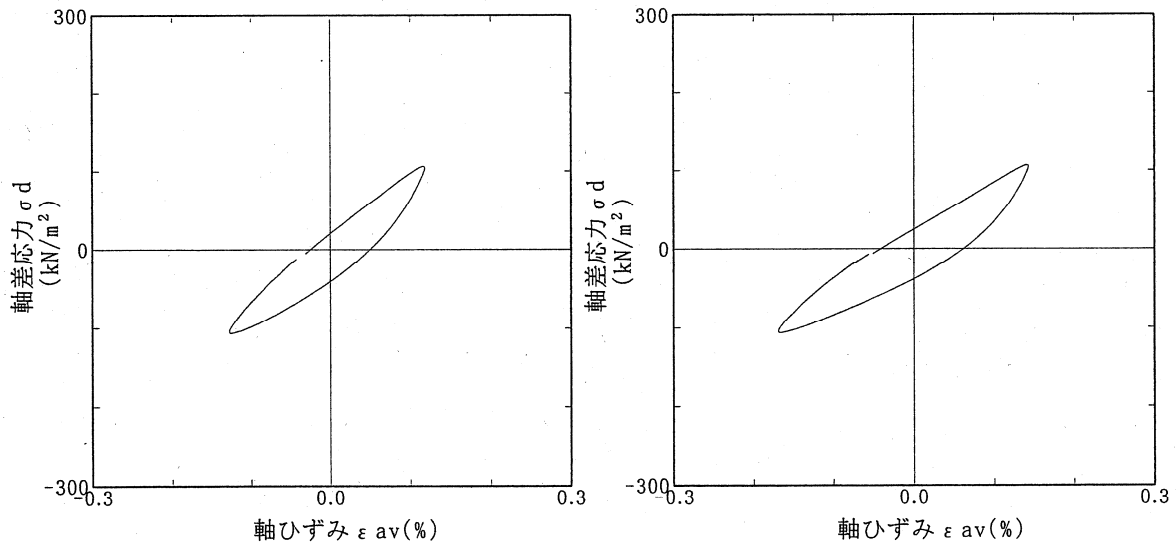
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105	載 荷 段 階	10	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_d kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.150		~~片振幅せん断応力 τ_d kN/m²~~	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	~~等価せん断剛性率 G_{eq}~~		
	高 さ H_L cm	10.159		2	106.4	0.104451		102
	外 径 ³⁾ D_o cm	5.015		3	106.4	0.110878		96
	内 径 ³⁾ D_i cm	0.000		4	106.3	0.116903		91
	体 積 V_L cm ³	200.648		5	106.4	0.123210		86
	断 面 積 A_L cm ²	19.750		6	106.4	0.129414		82
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	106.2	0.135620	78	14.3	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.350	8	106.4	0.142424	75	14.4	
			9	106.4	0.149512	71	14.5	
			10	106.4	0.156409	68	14.6	

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5 サイクル目

10 サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名

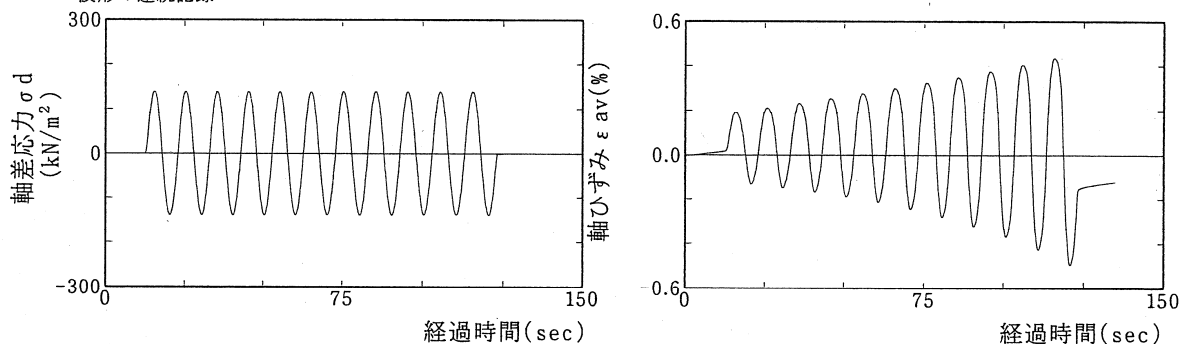
試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m)

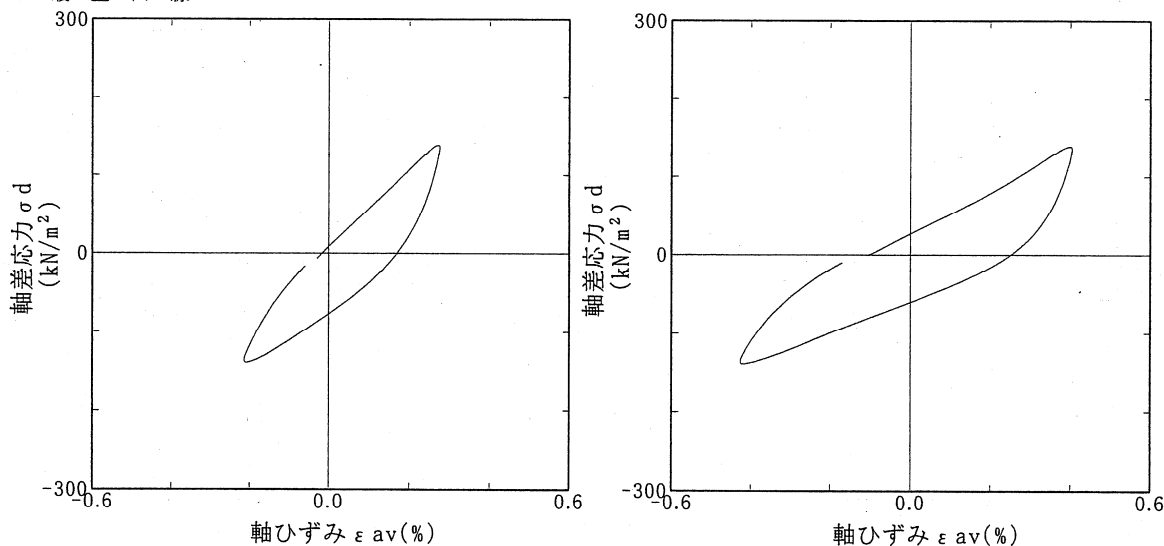
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105		載 荷 段 階		11	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.350		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq}				
	高 さ H_i cm	10.159	2	139.0	0.180279	77	16.6			
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.010	3	138.9	0.200354	69	16.6			
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	138.9	0.222095	63	16.7			
	体 積 V_i cm ³	200.298	5	138.8	0.245257	57	16.9			
	断 面 積 A_i cm ²	19.716	6	138.9	0.272328	51	17.1			
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	-0.015	7	139.1	0.302383	46	17.3			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.550	8	138.9	0.335662	41	17.5			
			9	138.9	0.373283	37	17.5			
			10	138.8	0.415569	33	17.6			

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5 サイクル目

10 サイクル目

特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

D105 200

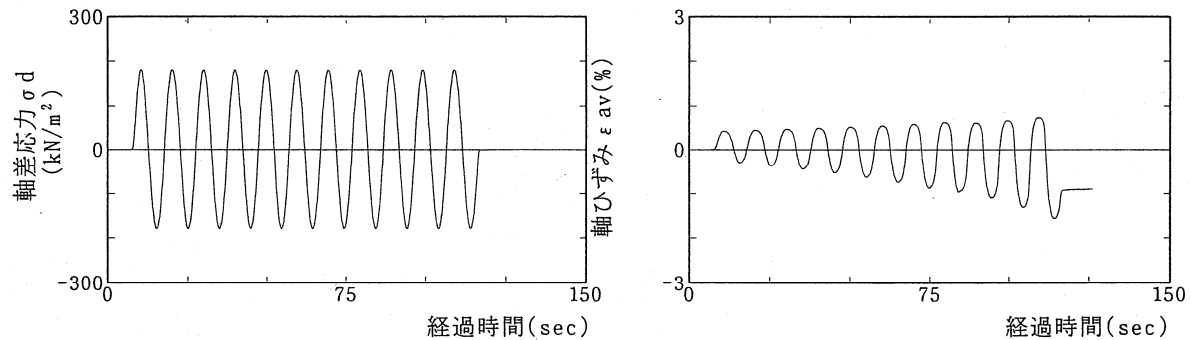
	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名 砂質土地盤における水中基礎のサクシオン効果に関する遠心実験 試験年月日

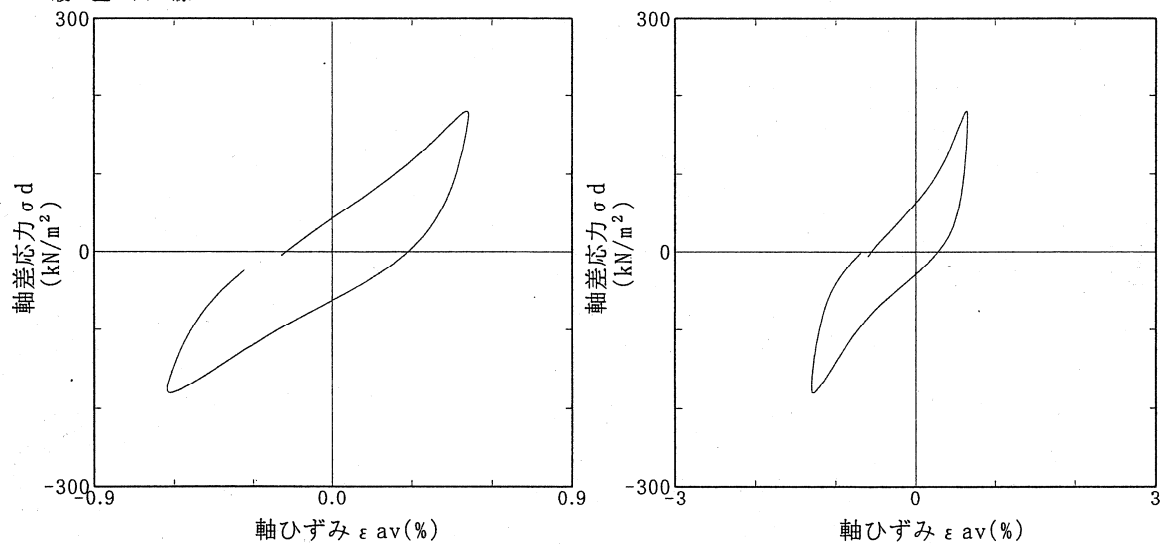
試料番号 (深さ) No. D105 (GL- m ~ m) 試験者

土 質 名 称		江戸崎砂		供 試 体 No.		D105		載 荷 段 階		12	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	-0.015	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %				
	排水量 ΔV_L cm ³	0.550		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²					
	高 さ H_L cm	10.174	2	180.3	0.404738	45	17.4				
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.000	3	180.3	0.453413	40	17.0				
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	180.1	0.507052	36	16.9				
	体 積 V_L cm ³	199.748	5	180.1	0.569019	32	16.8				
	断 面 積 A_L cm ²	19.633	6	180.2	0.640407	28	16.7				
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	-0.055	7	180.0	0.723748	25	16.6				
	排水量 ΔV_L cm ³	1.200	8	180.2	0.794116	23	15.4				
			9	180.3	0.846951	21	16.3				
			10	180.3	0.979353	18	16.0				

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5,10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

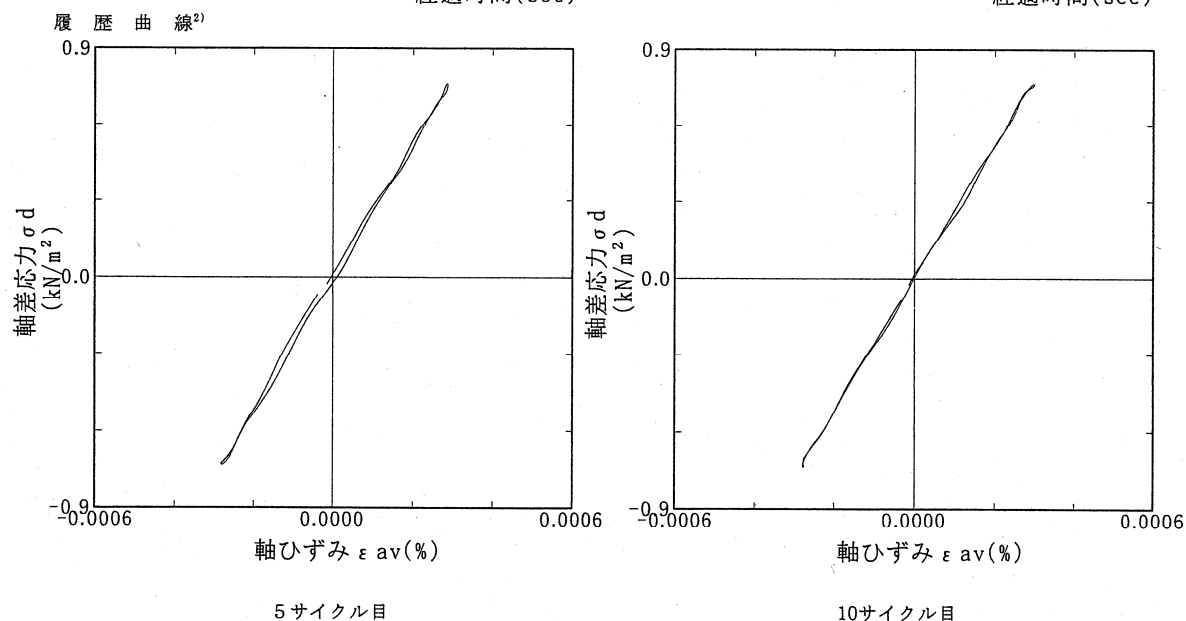
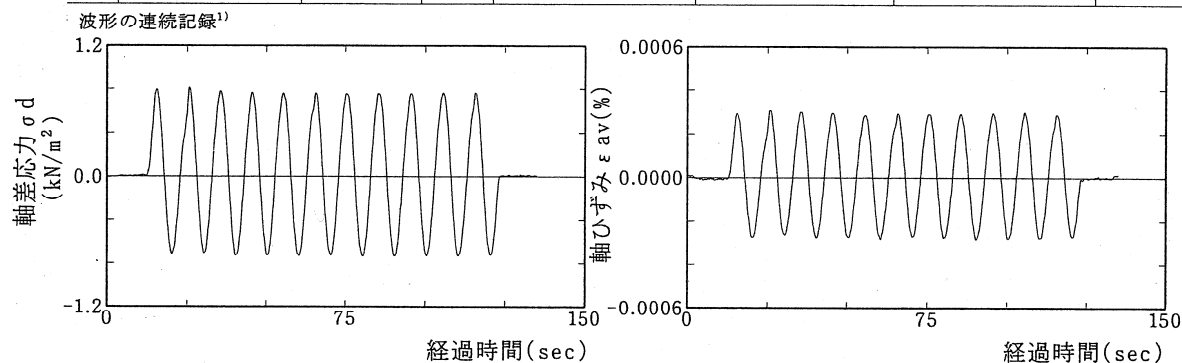
[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	（載荷過程、波形記録）
--	--	-------------

調査件名 江戸崎砂 (不飽和) 試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105US (GL- m ~ m) 試験者

土質名称			供試体 No.	D105US		載荷段階	1
繰返し 載荷前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ (ε_{av}) %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ (γ_a) %	等価せん断剛性率 G_{eq}	
	高さ H cm	10.153	2	0.8	0.000286	265	0.8
	外径 ³⁾ D_o cm	5.011	3	0.8	0.000289	261	1.4
	内径 ³⁾ D_i cm	0.000	4	0.7	0.000286	262	1.2
	体積 V_i cm ³	200.208	5	0.7	0.000285	262	1.1
載荷 後	断面積 A_i cm ²	19.719	6	0.7	0.000283	262	1.3
	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	0.7	0.000284	263	1.3
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	0.7	0.000288	259	1.1
			9	0.7	0.000289	258	1.4
			10	0.7	0.000289	259	0.4



- 特記事項
- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
 - 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
 - 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

載荷過程, 波形記録)

調査件名

試験年月日

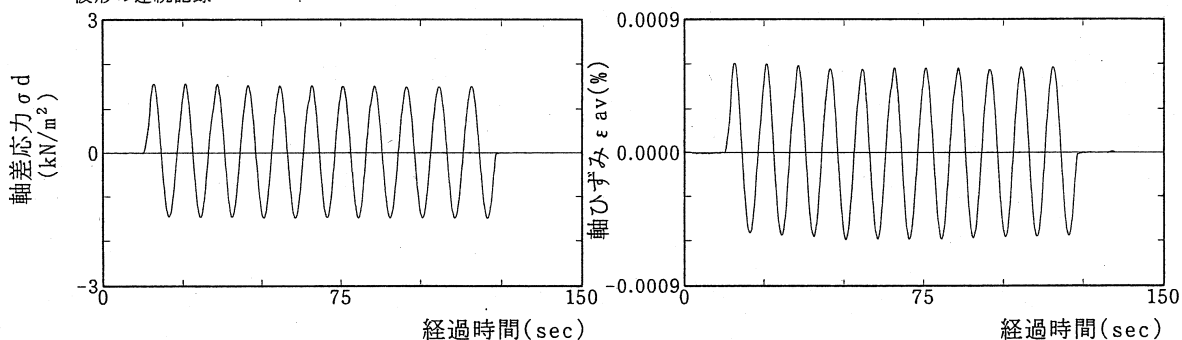
試料番号 (深さ) No. D105US

(GL- m ~ m)

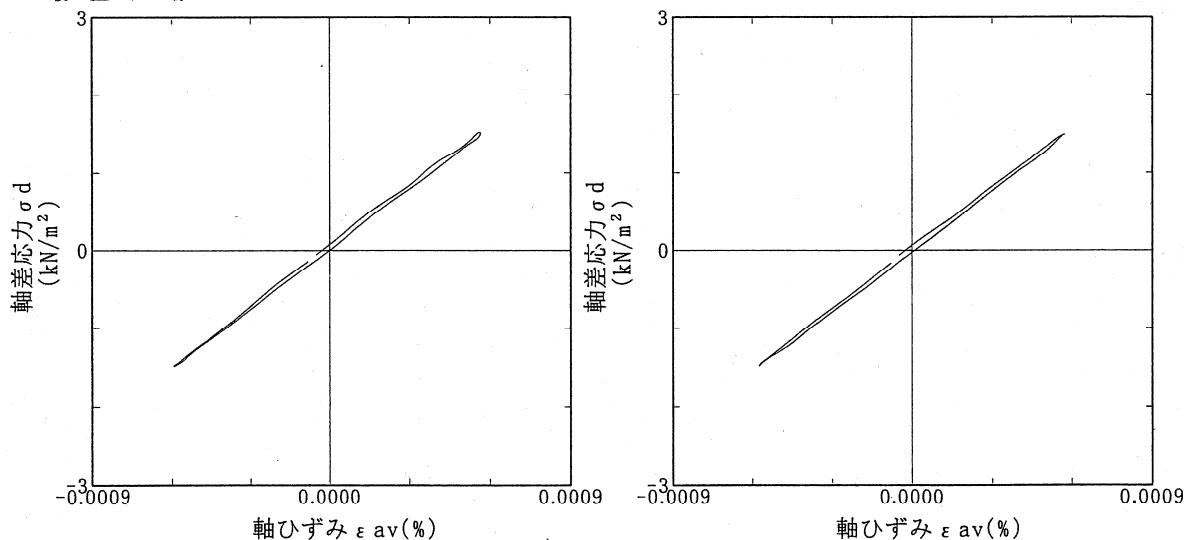
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US	載 荷 段 階	2		
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{\sigma_a}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{\tau_a}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²			
	高 さ H_L cm	10.153		2	1.5	0.000583		259	1.2
	外 径 ³⁾ D_{o1} cm	5.011		3	1.5	0.000583		258	1.1
	内 径 ³⁾ D_{i1} cm	0.000		4	1.5	0.000582		258	1.0
	体 積 V_L cm ³	200.208		5	1.5	0.000579		259	1.1
	断 面 積 A_L cm ²	19.719		6	1.5	0.000584		256	1.0
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	1.5	0.000582	256	1.3		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	1.5	0.000580	258	1.3		
			9	1.5	0.000570	261	1.1		
			10	1.5	0.000575	259	1.2		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録は別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≈ 0.102kgf/cm²]

[1MN/m² ≈ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名

試験年月日

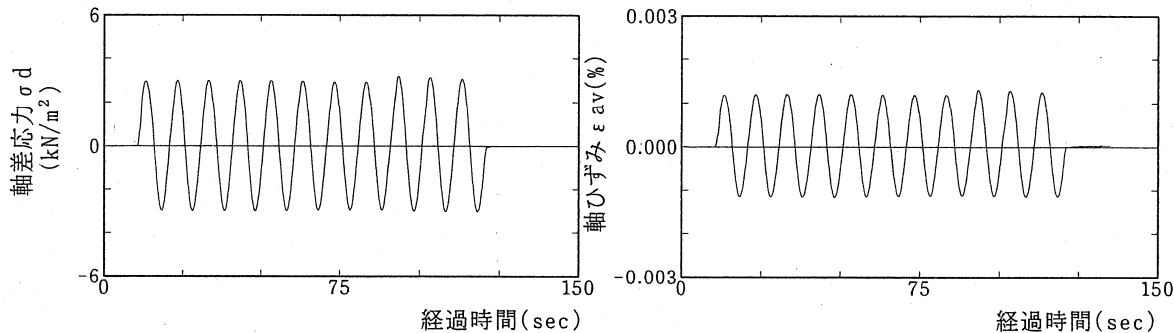
試料番号 (深さ) No. D105US

(GL- m ~ m)

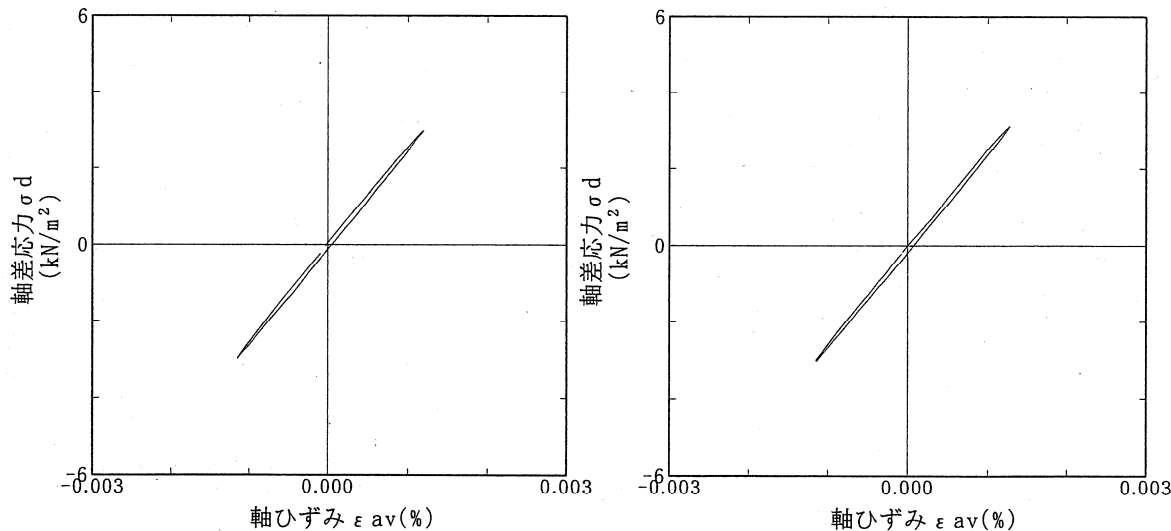
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US		載 荷 段 階	3	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_d kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_d kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断剛性率 G_{eq}			
	高 さ H_i cm	10.153		2	3.0	0.001175		254	1.4
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.011		3	3.0	0.001179		253	1.5
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000		4	3.0	0.001183		252	1.5
	体 積 V_i cm ³	200.208		5	3.0	0.001176		253	1.4
	断 面 積 A_i cm ²	19.719		6	3.0	0.001167		253	1.4
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	2.9	0.001158	253	1.4		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	2.9	0.001155	254	1.4		
			9	3.1	0.001215	254	1.4		
			10	3.1	0.001216	252	1.4		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名

試験年月日

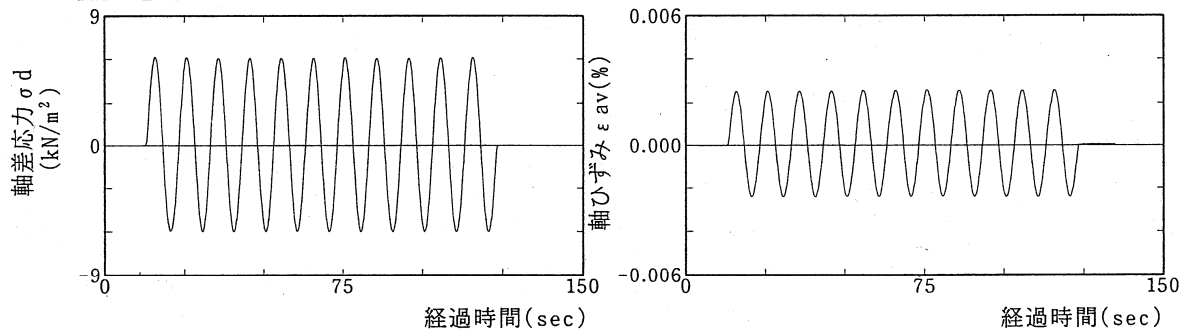
試料番号 (深さ) No. D105US

(GL- m ~ m)

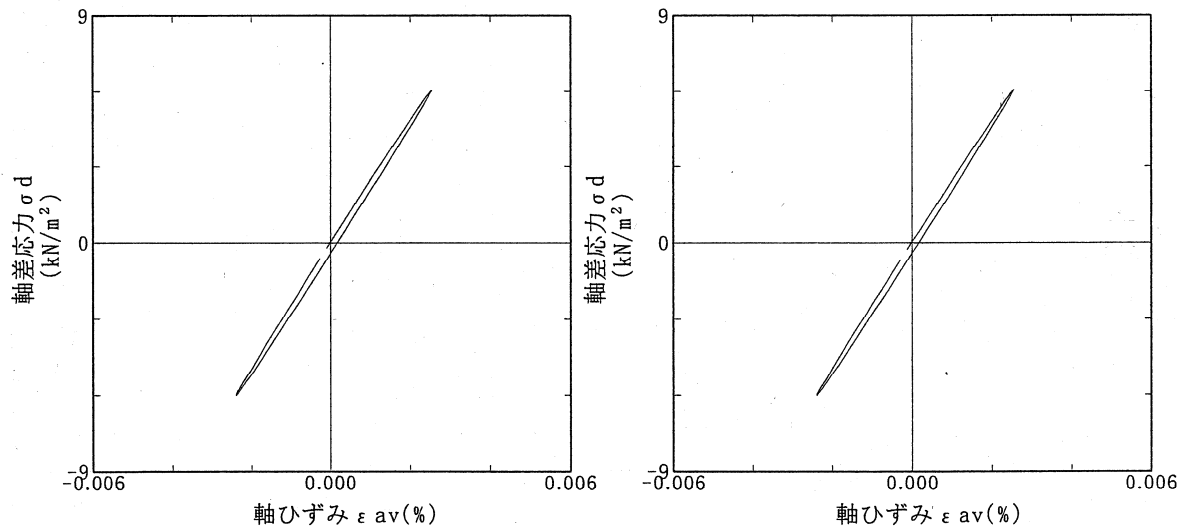
試験者

土 質 名 称					供 試 体 No.	D105US	載 荷 段 階	4
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_v MN/m ²	履歴減衰率 h %	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_v MN/m ²		
	高 さ H_L cm	10.153		2	6.1	0.002466		245
	外 径 ³⁾ D_{et} cm	5.011		3	6.0	0.002470		245
	内 径 ³⁾ D_{it} cm	0.000		4	6.0	0.002468		245
	体 積 V_L cm ³	200.208		5	6.0	0.002480		243
	断 面 積 A_L cm ²	19.719		6	6.0	0.002478		244
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	6.1	0.002481	244	1.8	
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	6.1	0.002480	244	1.8	
			9	6.0	0.002485	243	1.8	
			10	6.0	0.002486	243	1.8	

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名

試験年月日

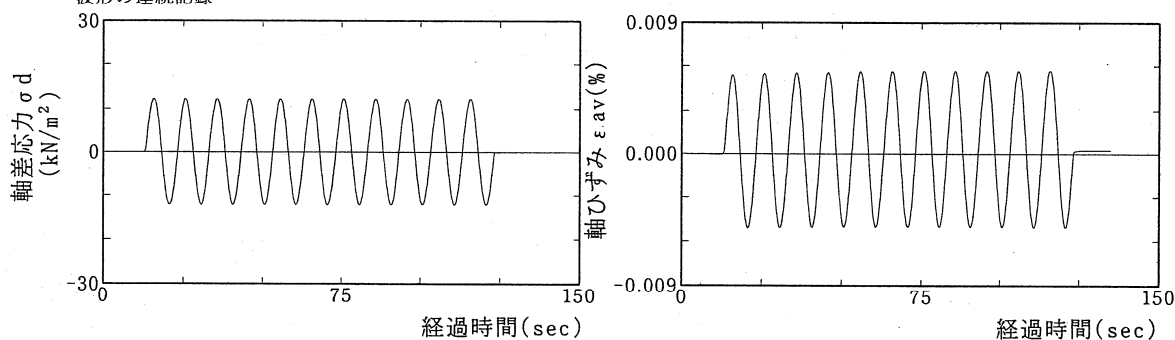
試料番号 (深さ) No. D105US

(GL- m ~ m)

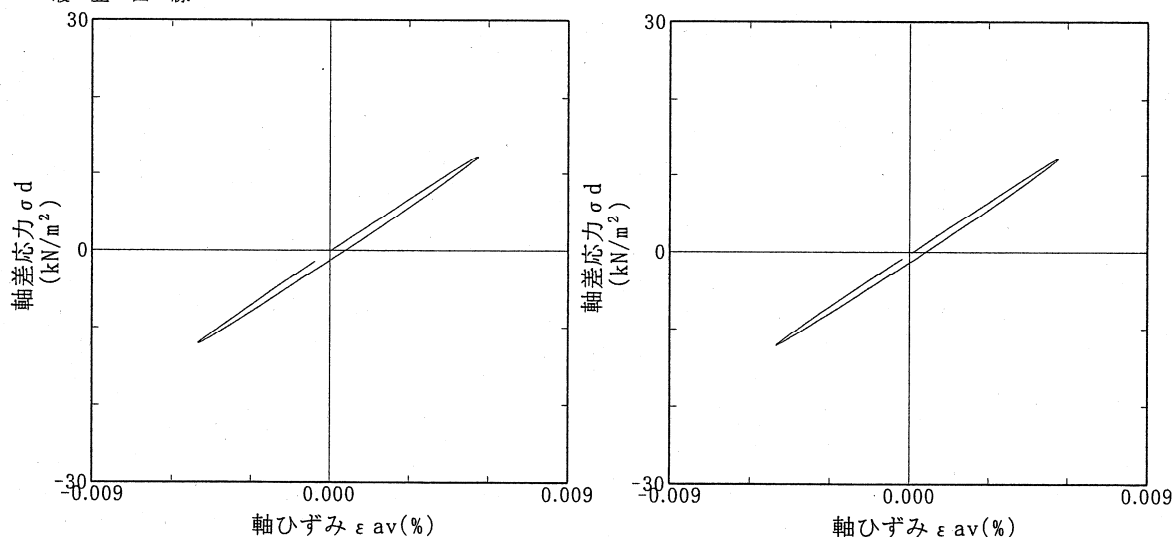
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US	載 荷 段 階	5
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断剛性率 G_{eq} MN/m ²	
	高 さ H_L cm	10.153	2	12.1	0.005265	231	2.7
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.011	3	12.1	0.005273	230	2.6
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	12.1	0.005289	229	2.4
	体 積 V_L cm ³	200.208	5	12.2	0.005312	229	2.5
載 荷 後	断 面 積 A_L cm ²	19.719	6	12.1	0.005311	228	2.4
	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	12.1	0.005327	228	2.4
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	12.1	0.005330	228	2.3
			9	12.1	0.005337	227	2.3
			10	12.1	0.005340	227	2.3

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

（載荷過程，波形記録）

調査件名

試験年月日

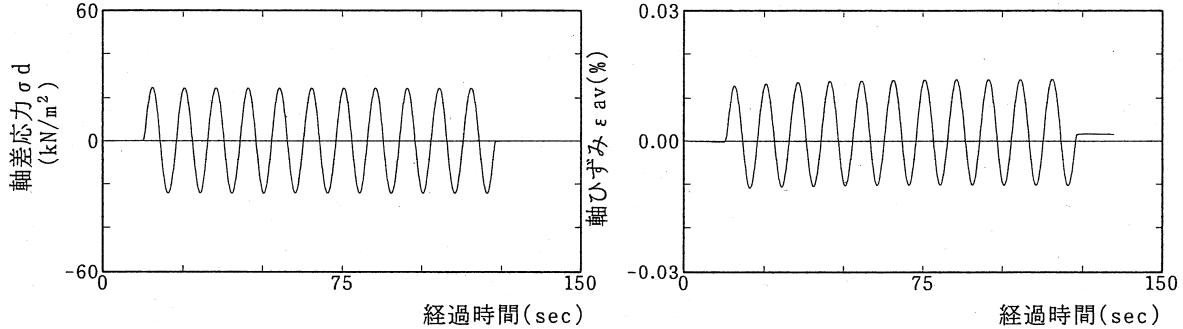
試料番号（深さ） No. D105US

（GL- m～ m）

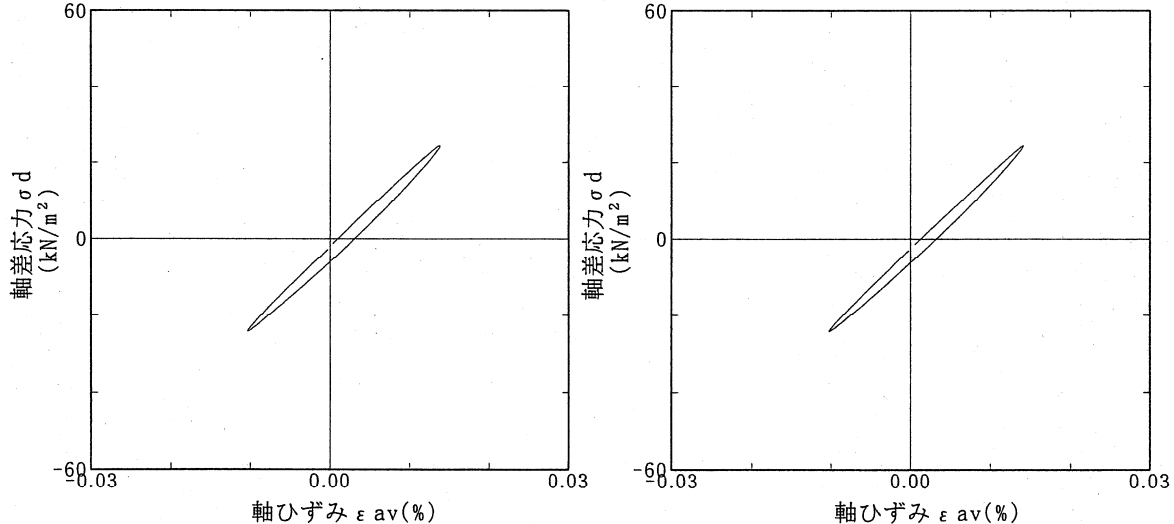
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US	載 荷 段 階	6		
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²			
	高 さ H_i cm	10.153		2	24.4	0.011946		204	4.9
	外 径 ³⁾ D_{si} cm	5.011		3	24.4	0.012026		202	4.5
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000		4	24.4	0.012090		202	4.3
	体 積 V_i cm ³	200.208		5	24.3	0.012131		201	4.1
	断 面 積 A_i cm ²	19.719		6	24.3	0.012165		200	4.0
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	24.3	0.012182	200	4.0		
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	24.3	0.012205	199	3.9		
			9	24.3	0.012234	199	3.8		
			10	24.3	0.012238	199	3.8		

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5,10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	（載荷過程，波形記録）
--	--	-------------

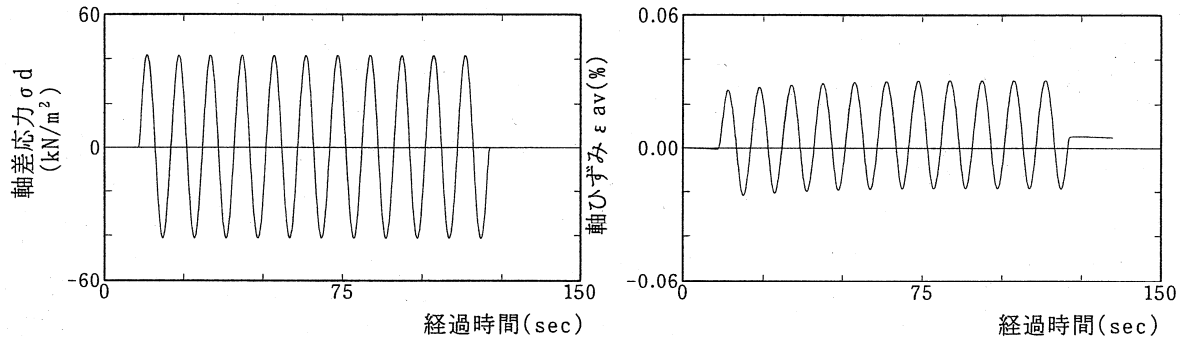
調査件名

試験年月日

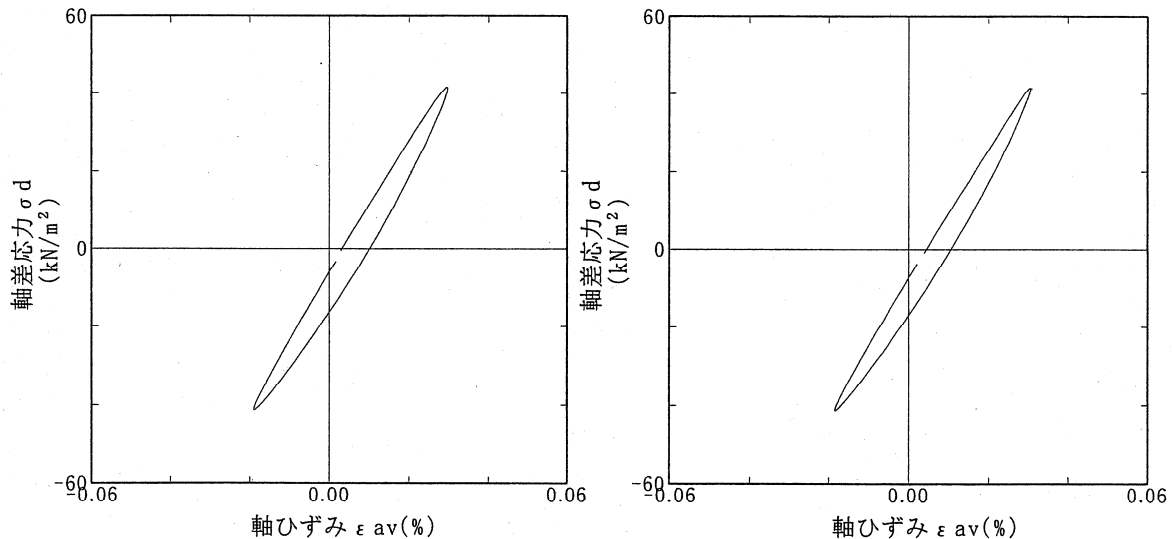
試料番号（深さ） No. D105US (GL- m～ m) 試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US		載 荷 段 階		7	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq}				
	高 さ H_t cm	10.153		2	41.4	0.024073	172	7.7		
	外 径 ³⁾ D_o cm	5.011		3	41.4	0.024214	171	7.1		
	内 径 ³⁾ D_i cm	0.000		4	41.4	0.024324	170	6.7		
	体 積 V_t cm ³	200.208		5	41.5	0.024417	170	6.5		
	断 面 積 A_t cm ²	19.719		6	41.4	0.024464	169	6.3		
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	41.5	0.024521	169	6.2			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	41.5	0.024572	169	6.1			
			9	41.4	0.024590	169	6.0			
			10	41.4	0.024613	168	5.9			

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録は別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5,10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m²≒0.0102kgf/cm²]

[1MN/m²≒10.2kgf/cm²]

	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	--	-------------

調査件名

試験年月日

試料番号 (深さ) No. D105US

(GL-

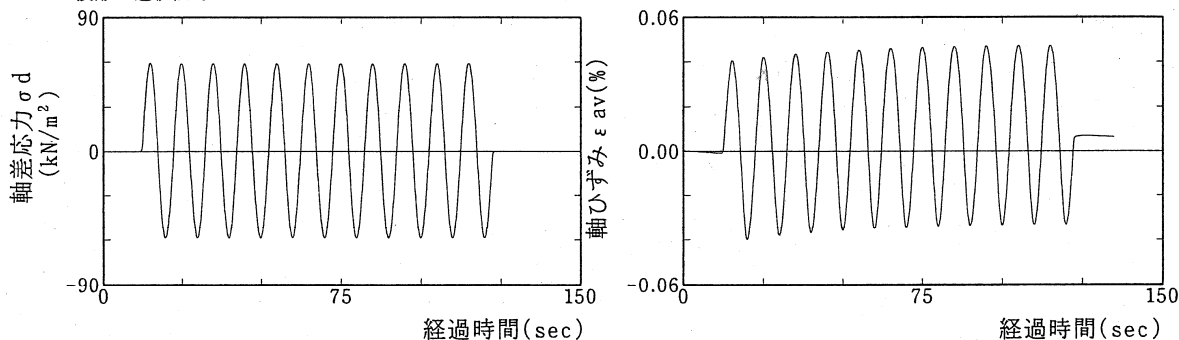
m~

m)

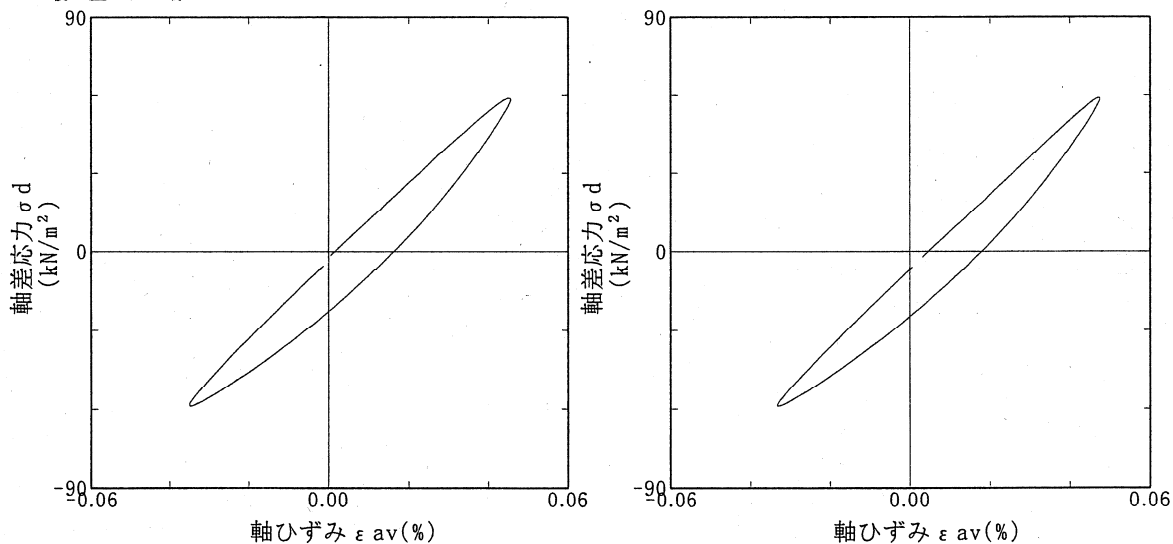
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US		載 荷 段 階		8	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma_a)_{SA}$ %	等価せん断剛性率 G_{eq}				
	高 さ H_i cm	10.153	2	58.9	0.040128	147	9.5			
	外 径 ³⁾ D_{ei} cm	5.011	3	58.9	0.040292	146	8.9			
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	58.9	0.040352	146	8.6			
	体 積 V_i cm ³	200.208	5	58.9	0.040341	146	8.3			
	断 面 積 A_i cm ²	19.719	6	58.9	0.040393	146	8.1			
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	59.0	0.040448	146	7.9			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	58.9	0.040432	146	7.8			
			9	59.0	0.040439	146	7.7			
			10	58.9	0.040418	146	7.6			

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



特記事項

- 1) 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 2) 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 3) 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

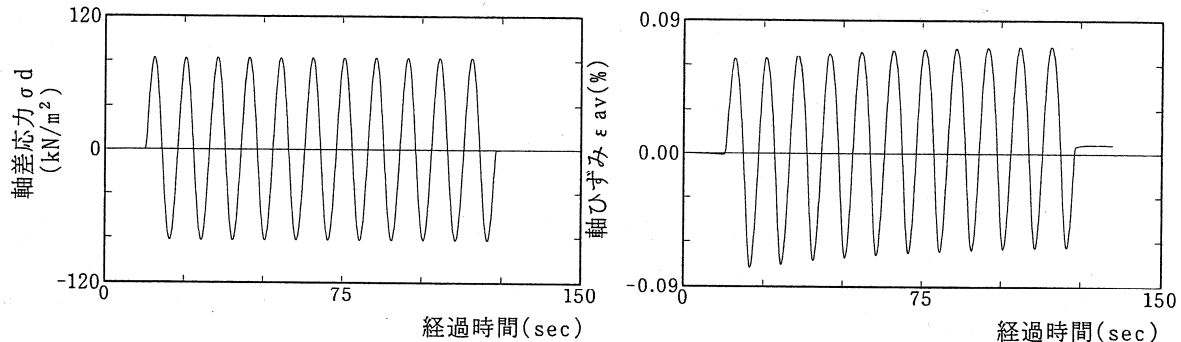
地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

試験年月日

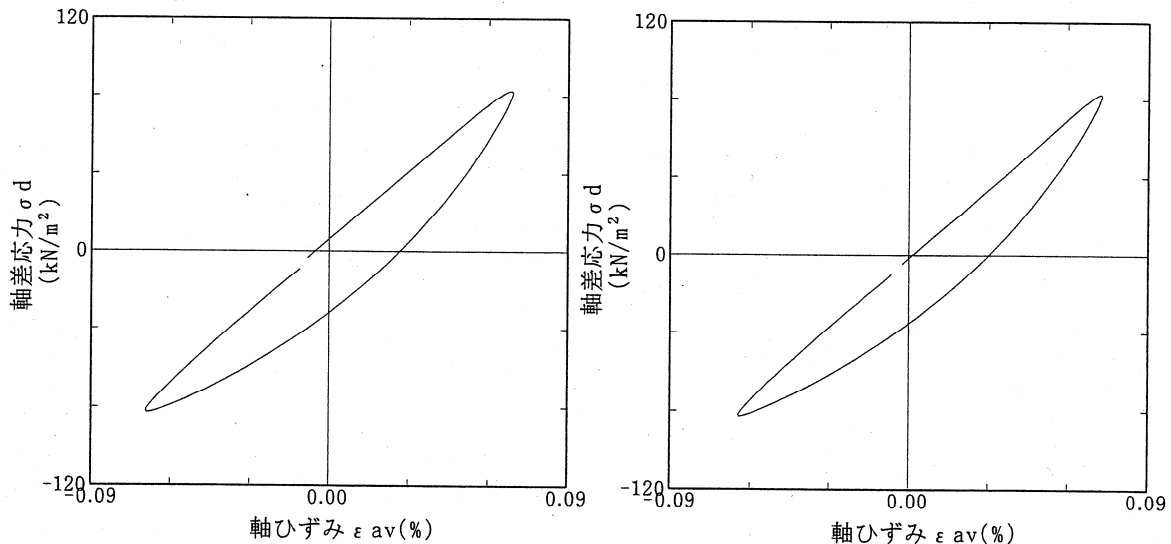
試料番号 (深さ) No. D105US (GL- m ~ m) 試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US		載 荷 段 階		9	
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	サイクル	片振幅軸応力 σ_a kN/m ²	片振幅軸ひずみ (ε_a) _{SA} %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	片振幅せん断ひずみ (γ_a) _{SA} %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²				
	高 さ H_i cm	10.153	2	82.8	0.070012	118	11.9			
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.011	3	82.8	0.069664	119	11.3			
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	82.8	0.069600	119	10.9			
	体 積 V_i cm ³	200.208	5	82.7	0.069227	119	10.5			
	断 面 積 A_i cm ²	19.719	6	82.7	0.069114	120	10.3			
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.010	7	82.7	0.068932	120	10.1			
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	82.8	0.068839	120	9.9			
			9	82.7	0.068657	120	9.8			
			10	82.7	0.068580	121	9.6			

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5,10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法

載荷過程, 波形記録)

調査件名

試験年月日

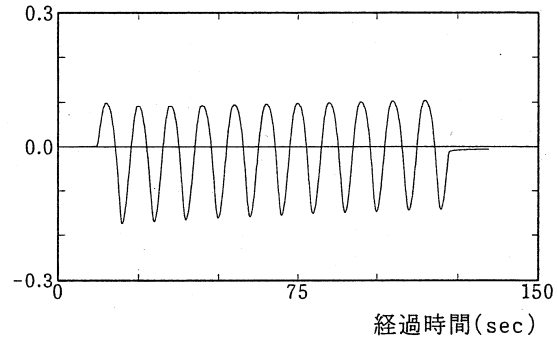
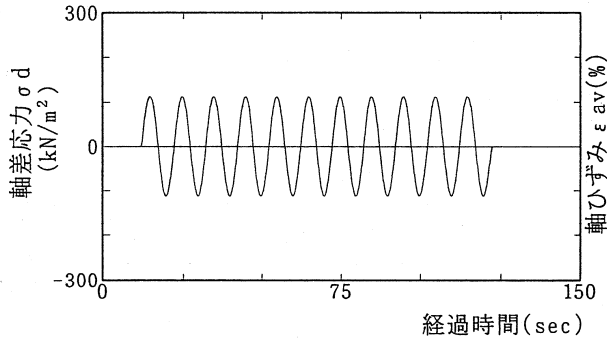
試料番号 (深さ) No. D105US

(GL- m ~ m)

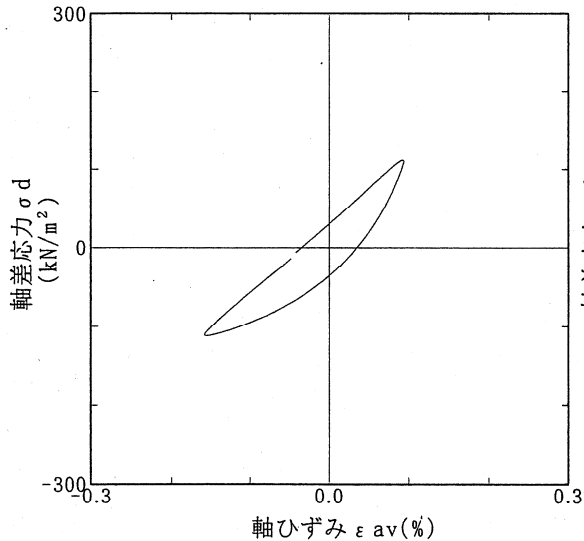
試験者

土 質 名 称			供 試 体 No.		D105US	載 荷 段 階	10
繰 返 し 載 荷 前	軸変位量 ΔH_L cm	0.010	サイクル	片振幅軸応力 σ_v kN/m ²	片振幅軸ひずみ $(\varepsilon a)_{SA}$ %	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ²	履歴減衰率 h %
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000		片振幅せん断応力 τ kN/m ²	片振幅せん断ひずみ $(\gamma)_{SA}$ %	等価せん断弾性率 G_{eq} MN/m ²	
	高 さ H_L cm	10.143	2	112.0	0.130181	86	14.8
	外 径 ³⁾ D_{oi} cm	5.013	3	111.9	0.128154	87	14.0
	内 径 ³⁾ D_{ii} cm	0.000	4	112.0	0.127022	88	13.5
	体 積 V_L cm ³	200.208	5	112.0	0.125990	89	13.2
	断 面 積 A_L cm ²	19.739	6	111.9	0.125147	89	12.9
載 荷 後	軸変位量 ΔH_L cm	0.000	7	111.8	0.124230	90	12.6
	排水量 ΔV_L cm ³	0.000	8	111.9	0.123986	90	12.4
			9	112.0	0.123584	91	12.3
			10	111.8	0.122869	91	12.1

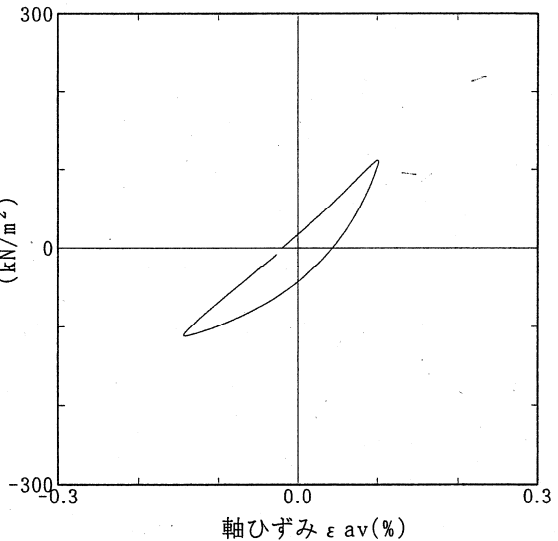
波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目



10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5, 10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² $\approx$ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² $\approx$ 10.2kgf/cm²]

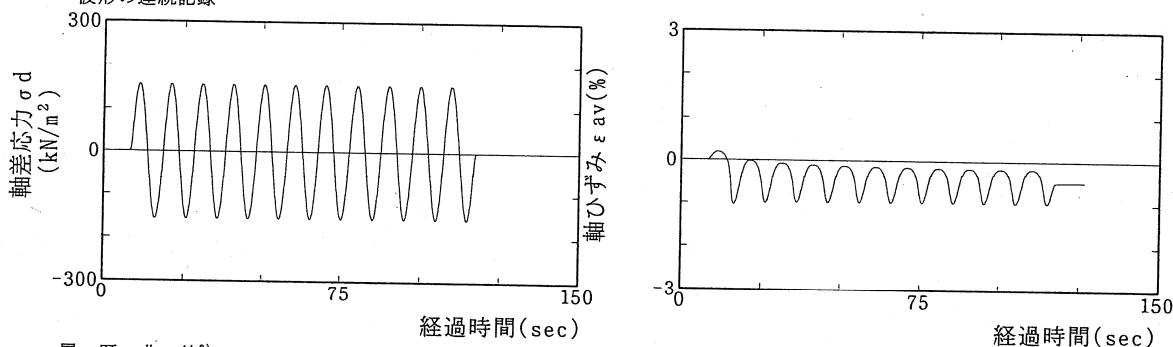
地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法 土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験方法	載荷過程, 波形記録)
--	-------------

調査件名 砂質土地盤における水中基礎のサクシオン効果に関する遠心実験 試験年月日

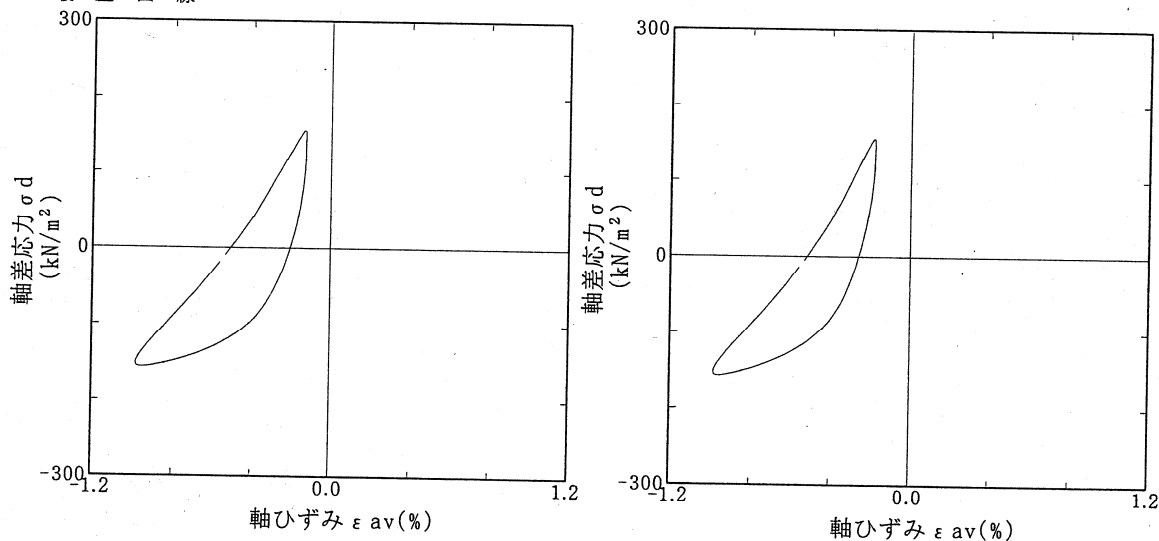
試料番号 (深さ) No. D105US (GL- m~ m) 試験者

土質名称	江戸崎砂	供試体 No.	D105US	載荷段階	11
繰返し 載荷前	軸変位量 ΔH_L cm 排水量 ΔV_L cm ³ 高さ H_L cm 外径 ³⁾ D_{ei} cm 内径 ³⁾ D_{ii} cm 体積 V_i cm ³ 断面積 A_i cm ²	0.000 0.000 10.143 5.013 0.000 200.208 19.739	サイクル 片振幅軸応力 σ_a kN/m ² 片振幅せん断応力 τ_a kN/m ²	0.491323 0.456343 0.441154 0.427049 0.419034	等価ヤング率 E_{eq} MN/m ² 等価せん断剛性率 G_{eq} MN/m ² 履歴減衰率 h %
載荷 後	軸変位量 ΔH_L cm 排水量 ΔV_L cm ³	-0.050 0.000	156.1 156.0 155.9 155.9 155.9 155.9 155.9 155.7 156.0 156.0	0.414141 0.406345 0.402716 0.402217	32 34 35 36 37 38 38 39 39 39
		2 3 4 5 6 7 8 9 10			21.7 20.5 19.8 19.3 18.9 18.6 18.4 18.2 17.9

波形の連続記録¹⁾



履歴曲線²⁾



5サイクル目

10サイクル目

特記事項

- 繰返し載荷中の軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の連続記録に別途添付してもよい。
- 軸荷重と軸変位、あるいはねじり力と回転角の履歴曲線は別途添付してもよい。必要に応じて5,10回目以外の繰返し載荷における履歴曲線も添える。
- 繰返し中空ねじり試験のときのみ記入する。

[1kN/m² ≒ 0.0102kgf/cm²]

[1MN/m² ≒ 10.2kgf/cm²]

付-2 サクシオンを利用した水中基礎～スカート・サクシオン基礎～

1. スカート・サクシオン基礎の概要

(1) スカート・サクシオン基礎とは

1970 年ごろから、海洋構造物の分野にて “スカート・サクシオン基礎” と呼ばれる水中基礎が用いられている。その多くは海底油田・ガス田の開発に適用されており、基礎部材である “スカート” が地盤に貫入し構造物に作用する荷重を支持する構造である。スカートの貫入に自重・バラスト荷重の他、サクシオン（静水圧以下に水压を下げる）ことによる荷重も用いて設置し、供用時の荷重・地震荷重に対してもサクシオンにより抵抗する。

これまでに、当基礎を適用した代表的事例としては、図-1 に示す通り、北海の海底油田開発用コンクリートプラットフォームや、円筒形の繫留用アンカー等が挙げられる。これらの基礎の最大の特徴は、水压を可能な限り有効活用することにあるため、据付地点ではある程度の水深が必要となる。また、スカートの貫入が可能な地盤であることも適用の必要条件である。

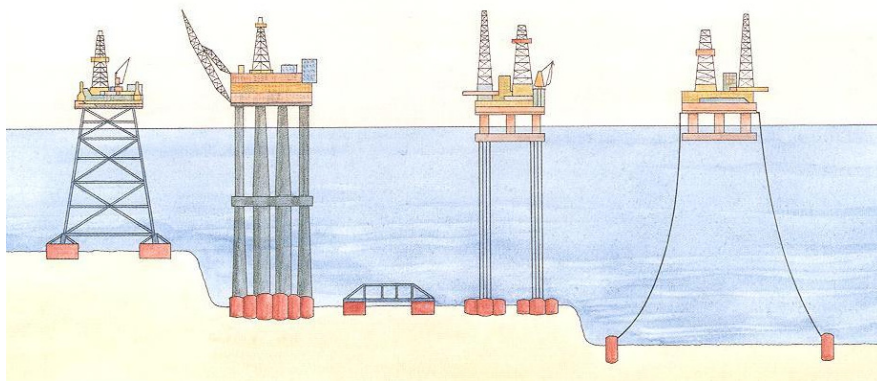
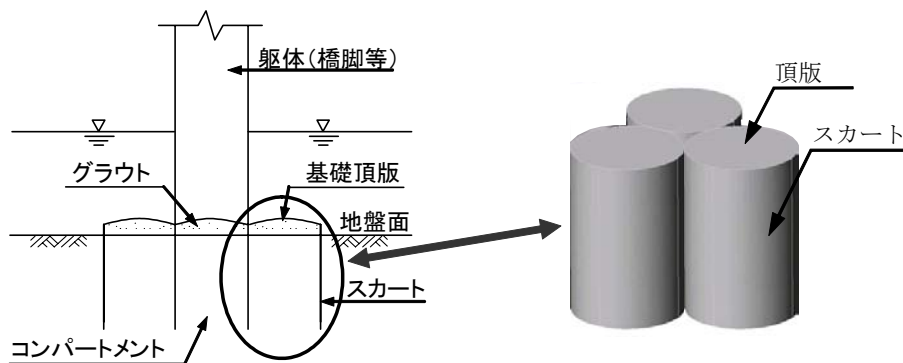


図-1 スカート・サクシオン基礎の適用事例¹⁾

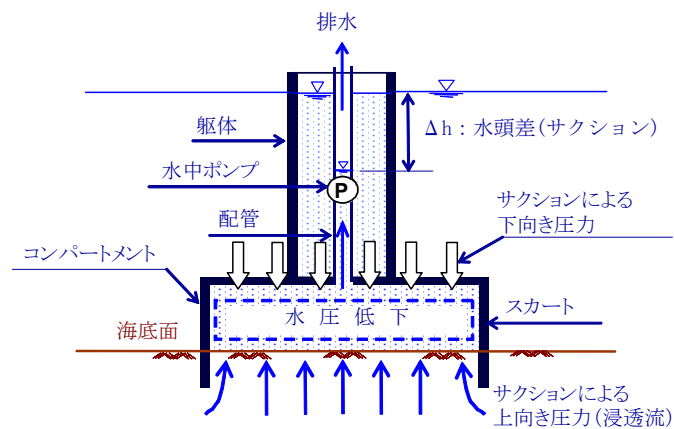
(左から、当基礎を用いたジャケッ、重力式プラットフォーム、海底基礎、テンションレグ、半潜水式浮体の各海洋構造物)

(2) 構造の概念

スカート・サクシオン基礎は「水中基礎」の一つであり、図-2 に示すように、基礎頂版より下方に伸びたコンクリート製もしくは鋼製の “スカート” と呼ばれる壁を所定の深度まで地盤内に貫入して安定性を確保する基礎である。スカートの上端にはドームまたは平版の基礎頂版があり、下端は開放されているため、コップもしくはバケツを伏せた形状である。このスカートと基礎頂版より構成される空間を “コンパートメント” と呼ぶ。スカートには、一般に構造性能に優れた円筒形が用いられることが多い。スカートの寸法は構造物の種類・規模・地盤条件等によって異なる。例えば橋梁基礎にコンクリート製スカートを用いる場合、径は 15m 程度、壁厚は 0.4 ～0.5m である²⁾。



図ー2 スカート・サクシヨン基礎の模式図



図ー3 コンパートメント内の水圧を低下させたときの挙動模式図

(3) 既往の適用事例

① 海底油田開発用コンクリートプラットフォーム³⁾

1970年の初めより北海を中心にカナダ、ブラジル、オーストラリア、ロシア（サハリン）等の水深40m～300mの大水深の外洋にて、これまで約30基以上のコンクリートプラットフォームが建設されている。これらのプラットフォームの共通点は、設置地点での工事量・期間を減らすためにスカート・サクシヨン基礎を適用し、あらかじめドック等にて構築した基礎を海底地盤の掘削・整地等を行わずに設置している事である。この他にも、スカート・サクシヨン基礎には、海底地盤の不陸・傾斜の吸収、局所接地の防止、または洗掘防護などの効果が期待されている。

② 係留用アンカー³⁾

1990年代に入ってから、浮体構造物およびテンションレグプラットフォームの係留用アンカー（“サクシヨンアンカー”と呼ばれることが多い）が、北海、メキシコ湾、南シナ海、ブラジ

ル、オーストラリア等の約 50 の海域で供用され、その総数は 485 基以上に及んでいる。これらアンカーの設置水深は、30m～1920m と広範囲にわたっている。これらサクションアンカーは自重およびサクションにより地盤に貫入される。根入れした水中基礎では、急激な引抜き荷重作用時には、負の間隙水圧の発生により、下向きのサクション力が作用する。このため、陸上基礎と比較して、引抜き荷重に対して大きな抵抗力を有する。地震時・暴風時等の急激に作用する偏心傾斜荷重により基礎の一部に引抜き力が作用した場合も、この受働サクションによる引抜き抵抗が期待できる。

③国内の適用事例⁴⁾

1999年、国土交通省北陸地方整備局新潟港湾事務所の直江津港防波堤の基礎に適用された。現地の海域の水深は 10m であり、従来の混成堤の捨石基礎マウンドの代わりにスカートが用いられた。スカートはコンクリート製・鋼製各一基で、いずれもコンパートメントは一室のみで、外径 22m 高さ 8m である。

2. 技術上の特徴

(1) サクシオンを活用した事前載荷による高い供用性能

基礎の据付中もしくは据付直後、サクシオンにより、その後に作用する荷重（上部工・橋脚・主塔等の自重）以上の大きさの荷重を、据付時に作用することができる。この事前載荷（以降プレロードと呼ぶ）を継続することにより、即時沈下のみならず、その後に生じる経時沈下を上部工の架設前に発生させ、供用中の沈下を小さくできる。サクシオンによる載荷は水中ポンプを用いるのみであり、載荷・除荷が容易に行える利点がある。

(2) サクシオンを活用した据付による低コスト・環境保全

スカートを支盤に貫入するには自重・サクシオン、場合によって水バラストが用いられる。サクシオンすなわちコンパートメント内の水圧低減より、下向き荷重の増加・貫入抵抗力の低減が可能である。更に、各コンパートメント内のサクシオンの大きさを調節することにより、基礎の傾斜も修正し、水平に据付けすることも可能である。

サクシオン用に水中ポンプが作動するのみであることから、作業が容易・確実のみならず、打撃を伴う従来の基礎工法に比べ、周囲に及ぼす影響もはるかに小さい。また、据付にあたっては無振動・無騒音で施工され、サクシオン用の水は周囲の海水であり環境保全にも配慮している。

(3) 基礎のプレキャスト化による洋上作業の最小化・水域への影響緩和

基礎を構成するスカートは陸上のヤード、またはドライドックにて構築される。基礎が大型になると洋上（浮遊状態）にて上部を構築し、構築が完了した基礎は現地まで浮上曳航される。なお、小型基礎ではヤードから起重機船にて吊上げて現地まで運搬される。よって、現地作業は据付（スカート貫入）のみである。このように、洋上での作業量低減に伴い、海洋工事の安全性が向上し、据付水域の占有期間が短いため近傍の航行船舶への影響も小さく、更に水域占有に伴う各種補償なども軽減可能となる。

(4) 地盤改良・浚渫が不要

スカートは表層の軟弱地盤を貫通し、所定の土層まで貫入する。基礎内に包含される軟弱地盤はスカートにより拘束されるため、隔室内の中詰土と同じように挙動する。よって、軟弱地盤であっても、地盤改良・浚渫・残土処理が不要であり、水質汚濁が殆ど生じない。

3. 橋梁基礎への適用⁵⁾

これまで、海上橋梁の基礎として杭基礎、ケーソン基礎、鋼管矢板基礎など様々な基礎形式が用いられてきており、いずれも豊富な実績を有するものである。しかし、陸上・水中の両方で用いられるため、水中に設置することの利点を積極的に活用するものではない。一方、水中のみを対象としたスカート・サクシヨン基礎は、水深・水圧によるサクシヨンを適切に活用し、振動騒音を伴わないサクシヨンによる基礎の貫入（施工性能）や、プレロードによる沈下抑制（供用性能）において大きな利点を有している。

スカート・サクシヨン基礎を橋梁基礎に採用する場合、適用性が高い海域と、採用により得られる効果を整理した結果、それぞれ以下の通りである。

【適用性が高い海域】

- ①頻繁に船舶が航行する海域——現地での施工期間が短いため
- ②残土・排土処分およびそれに伴う環境影響が厳しく制限される海域——浚渫等が不要なため
- ③大水深もしくは高波浪がしばしば来襲する海域——現地での施工期間が短いため

【採用により得られる効果】

a. 供用時の沈下抑制

サクシヨンによるプレロードが期待できる⁶⁾。

b. 耐震性能の確保

根入れが 20m 程度あり、受働サクシヨン効果による大きな引抜き抵抗力が期待可能である^{6) 7)}。

c. 環境保全

スカートの貫入は自重およびバラスト水のみで可能であり、掘削・整地等は不要である。

d. 周辺への影響極小

基礎はドライドックにて構築完了後、吊曳航し、現地に据付けられる。

現地作業はスカート貫入のみであり、既存の実績より貫入の実作業期間は 2－3 日、据付に関わる全工期はわずか 1 週間程度と考えられる。

4. 今後の動向

海洋構造物の分野にて 30 年以上の歴史および数百基の適用実績を有する海外では、今後もスカート・サクシヨン基礎のより広範囲の構造物の基礎への適用が計られてきている^{1) 3) 8)}。

これに対応して、ISO（国際標準化機構）は “海底油田・ガス田開発用海洋構造物向け基礎・地盤の設計指針（2003 年発刊）” を制定した⁹⁾。この規準は水中基礎の設計法の基本概念を規定しており、その中心がスカート・サクシヨン基礎であり、特に異常時の引抜抵抗の効果に着目して設計法の基本が取り纏められている。このように、海外では海洋構造物の基礎としての一翼を担ってきており、その成果を踏まえ、今後、橋梁基礎への展開が期待される。

参考文献

- 1) M.F.Randolph et al. “Challenges of offshore geotechnical engineering”, Proceeding International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Osaka, 2005
- 2) (財)海洋架橋・橋梁調査会, “スカート・サクシヨン基礎の設計・施工マニュアル”, J B E C ライブラリー No. 1, 2005.6
- 3) K.H.Andersen et al. “Suction anchors for deepwater applications”, Frontiers in Offshore Geotechnics, ISFOG, 2005
- 4) 善功企, “海洋における新形式基礎—サクシヨン基礎の現状と課題”, 沿岸域の持続的発展を支える新技術講演資料, (財)沿岸開発技術研究センター, pp. 1-42, 2002
- 5) 松井保 他 “海峡横断橋の海中基礎に関する最近の研究”, 第 15 回海峡横断セミナー, (財)海洋架橋・橋梁調査会, 2003
- 6) 伊藤政人, “スカート・サクシヨン基礎の貫入抵抗および貫入後の沈下予測手法に関する研究”, 北海道大学学位論文, 2005.3
- 7) 福井次郎 他 “長大橋基礎に作用する地震時のサクシヨンの効果”, 第 27 回土木学会地震工学論文集, pp. 1-7, 2003
- 8) G.T.Houlsby et al. “Suction caisson for wind turbines”, Frontiers in Offshore Geotechnics, ISFOG, 2005
- 9) ISO (International Organization for Standardization, “Petroleum and natural gas industries-Offshore Structures-Part4 Geotechnical and foundation design considerations ISO 19901-4”, 2003

Copyright © (2008) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4109 March 2008

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754