

### 3.3.12 E-ディフェンスによる地盤 - 構造物系実験ための施設整備

## 目 次

### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3カ年の年次実施計画
- (e) 平成15年度業務目的

### (2) 平成15年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) 円形せん断土槽と真空飽和用容器の試設計
  - 2) 直方体剛体土槽と真空飽和用上部蓋の試設計
  - 3) 液状化実験のための真空飽和装置とその排土装置の概略計画
  - 4) 円形せん断土槽・直方体剛体土槽の吊上げ治具の概略計画
  - 5) 土槽外部架工の概略計画
  - 6) 地盤運搬装置の概略計画
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

### (3) 平成16年度業務計画案

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 E-ディフェンスによる実大土槽振動実験のための施設整備

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名	メールアドレス
独立行政法人防災科学技術研究所 特定プロジェクトセンター 実大三次元震動破壊実験施設 利用プロジェクト	プロジェクト ディレクター	佐藤 正義	m.sato@bosai.go.jp
(株)東京ソイルリサーチ	室 長	阿部 秋男	abe@tokyosoil.co.jp

(c) 業務の目的

H17 年度から実施する E - ディフェンスでの地盤 - 構造物系実験のための実験付帯施設を H16 年度に整備する。そのため、ワーキンググループ(WG)を結成して、実験に必要な土槽等の設備について設計を行う。具体的には、土槽のサイズ・形状、土槽地盤の作成場所(実験棟内、震動台上、実験準備棟内)と作成方法(水中落下法、空中落下法、締固め法)、飽和方法(真空法、CO<sub>2</sub> 置換法)、地盤材料(乾燥砂、湿潤砂)を検討し、実大三次元せん断土槽の設計、実大側方流動土槽の設計、関連付帯設備の設計を行う。

(d) 3 年の年次実施計画

1) 平成 1 4 年度 :

E - ディフェンスでの地盤 - 構造物系実験設備の整備にむけてワーキンググループ(WG)を結成して、実験に必要な土槽のサイズ・形状、土槽地盤の作成場所と作成方法、飽和方法、地盤材料を検討し、円形三次元せん断土槽、直方剛体土槽、関連付帯設備について概略設計を行う。

2) 平成 1 5 年度 :

平成 1 4 年度に作成した円形三次元せん断土槽、直方剛体土槽、関連付帯設備の概略設計についてさらに検討をくわえ試設計を行う。

3) 平成 1 6 年度 :

平成 1 5 年度に作成した円形三次元せん断土槽、直方剛体土槽、関連付帯設備の試設計にさらに検討をくわえ実施設計を行う。

(e) 平成 1 5 年度業務目的

E - ディフェンスでの地盤 - 構造物系実験のため実験設備の整備にむけて、円形三次元せん断土槽、直方剛体土槽、関連付帯設備の試設計を行う。

## (2)平成15年度の成果

E - ディフェンスでの地盤 - 構造物系実験設備を整備するための試設計を行い、平成16年度の実設計、平成17年度の土槽実験設備の製作の準備ができた。

### (a) 業務の要約

平成15年度はE - ディフェンスでの地盤 - 構造物系実験設備を整備するため下記の検討を行った。

- 1) 円形せん断土槽と真空飽和用容器の試設計
- 2) 直方体剛体土槽と真空飽和用上部蓋の試設計
- 3) 液状化実験のための真空飽和装置とその排土装置の概略計画
- 4) 円形せん断土槽・直方体剛体土槽の吊上げ治具の概略計画
- 5) 地盤運搬装置の概略計画

### (b) 業務の実施方法

実大土槽振動実験のための施設整備を検討するには、まずE-ディフェンスでどのような実験をどのような目的で実施するのかを決定し、それを実施するために必要な実験施設を選択し、その試設計を行う。

### (c) 業務の成果

「E-ディフェンスによる実大土槽振動実験のための施設整備」の試設計をまとめた。

#### 1) 円形せん断土槽と真空飽和用容器の試設計

##### a) 円形せん断土槽

要求条件・設計仕様

< 要求条件 >

[土量・水量の最大値]

運搬時 5500 k N 試験時 6500 k N (土砂 + 水)

[容量]

槽内径 8000mm 槽内有効高さ 6500mm

[許容重量]

円形せん断土槽のみの重量で実験準備棟内での許容揚重量 1500 k N 以内。

土槽フレーム 500 k N 以内

[せん断土槽最大水平変形量]

高さの 1/10 = 650mm

[土槽水平変形時の摩擦抵抗力]

今後の検討課題とする

[各部耐力検討用慣性力]

運搬時に加わる荷重・強制変形に対して安全であること。(部材応力レベル 1/1.5 × 降伏点応力)

入力地震動 0.5G 程度に対して安全であること。(部材応力レベル 1/1.5 × 降伏点応力)

入力地震動は告示波・臨海波等の基準地震動とする。

[運搬時許容変形・許容転倒角]

土槽テーブルたわみ：目標 10mm 以内。(せん断土槽フレーム周囲と中央部の相対たわみ)

転倒角：目標 1° 以内 これを超える場合には別途せん断土槽を固定すること。

<設計仕様>

[基本構造]

円形せん断土槽は土槽フレームと土槽テーブルから構成する。

土槽フレームと土槽テーブル、および土槽フレームの各段はメンテナンス時に分解できるものとする。

[土槽フレームの構造]

土槽フレームはリング状の角型鋼管(150×100)フレームとガイドブロック・変位ストッパーおよび側部ゴムシート・低板より構成する。

角型鋼管フレームは全 41 段とする。各段有効高さは 158mm とする。

ガイドブロックは許容ストローク XY 方向 ±30mm、円周方向は固定とする。

変位ストッパーは XY 方向 ±30mm 以上の変形を固定できるものとする。

ゴムシートは側壁及び底部(土槽テーブル上面)間の止水性を確保すること。

低板は透水板(パールコーン)とスペーサーからなり、低部より水の供給可能なものとする。

[土槽フレームの仕様]

土槽フレーム各部は外気・水に対して耐候性を持つものとする。

鋼材においては耐候性鋼を用いるか、適切な防錆処理を行なうこととする。

ゴム等の高分子材料は大気中での劣化を抑えるため耐久性を抑えるための添加剤を用いたものとする。

各部の錆・劣化に対する保障期間は 15 年を目標とする。

[土槽テーブルの構造]

土槽テーブルは上記土槽フレームを載せ運搬可能な構造とする。

土槽テーブルは気密性を確保した上板と運搬時・揚重時ならびに真空飽和用容器使用時の荷重に対して所定の剛性を持つものとする。

土槽テーブルには揚重用のフック取り付け金物ならびに実験準備棟から実験棟までの運搬装置に必要な金物類を備えたものとする。

土槽テーブルは震動台テーブルと所定の強度で取り付け可能なものとする。

土槽テーブル上面は真空飽和用容器および土槽外部架工を取り付け可能な構造とし、これらよりの反力を震動台テーブルに伝達可能な強度・剛性を持つものとする。

[土槽テーブルの仕様]

土槽テーブル各部は外気・水に対して耐候性を持つものとする。

鋼材においては耐候性鋼を用いるか、適切な防錆処理を行うこととする。

各部の錆に対する保障期間は 15 年を目標とする。

## 試設計案

要求条件、設計仕様に基づく試設計案を図1に示す。

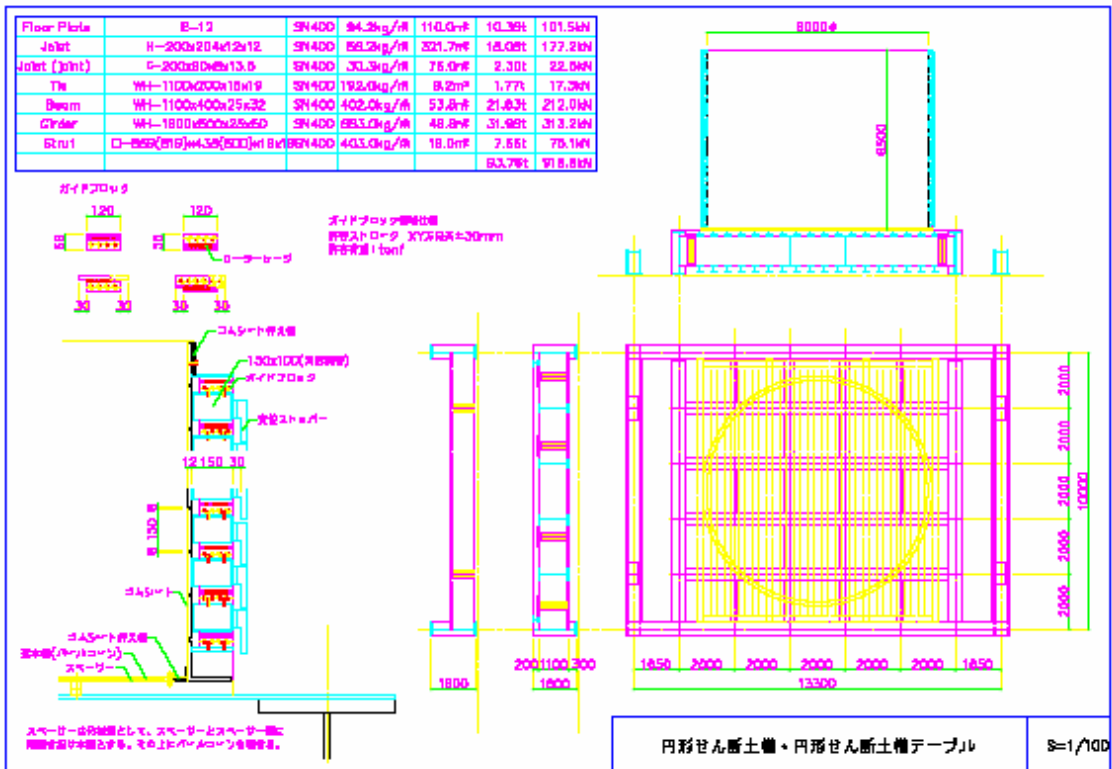


図1 円形せん断土槽の試設計図

### 円形せん断土槽テーブルの検討

以下の荷重条件に基づき、試設計土槽テーブル(円形土槽用)の変形・耐力を確認する。全体変形は実験棟内で揚重した際の変形を算定する。耐力はJoist、FloorPlateについては試験時(転倒モーメントが未確認のため土水重量のみで確認)、他のフレームは揚重時で確認する。

#### < 設定荷重 >

土槽フレーム 全 50 t (円周方向に等分布)

土砂 全 550 t (底面に等分布)

Joist+FloorPlate 115+95 = 210kgf/m<sup>2</sup>

#### < 全体解析結果 >

全体解析はモデルの各接点に自重を鉛直に加え、土槽フレーム及び土砂重量を各接点に支配面積分加えて行った。

図2に示す応力図によると各部材は建築基準法における長期許容モーメント(SN400材で $\sigma_b=1.6tf/cm^2$ )以内となっていることが確認された。

全体フレームの変形は吊り点に対して中央部接点では24.7mmの変形となっているが、せん断土槽8000での変形を求めると周囲に対して中央部の相対変形は9.6mm程度であり約1/833(0.12%)となっている

各部材断面・耐力表

	重量 (kgf/m)	断面二次 モーメント(cm <sup>4</sup> )	断面係数 (cm <sup>3</sup> )	長期許容曲 げモーメント(kNm)	
WH-1600x500x25x50	683	3707291	46341	7262	外周梁
WH-1100x400x25x32	402	961871	17489	2744	床梁
WH-1100x200x16x19	192	381752	6941	1088	繋ぎ梁
H-200x204x12x12	56	4980	498	77.4	Joist

(材質 SN400)

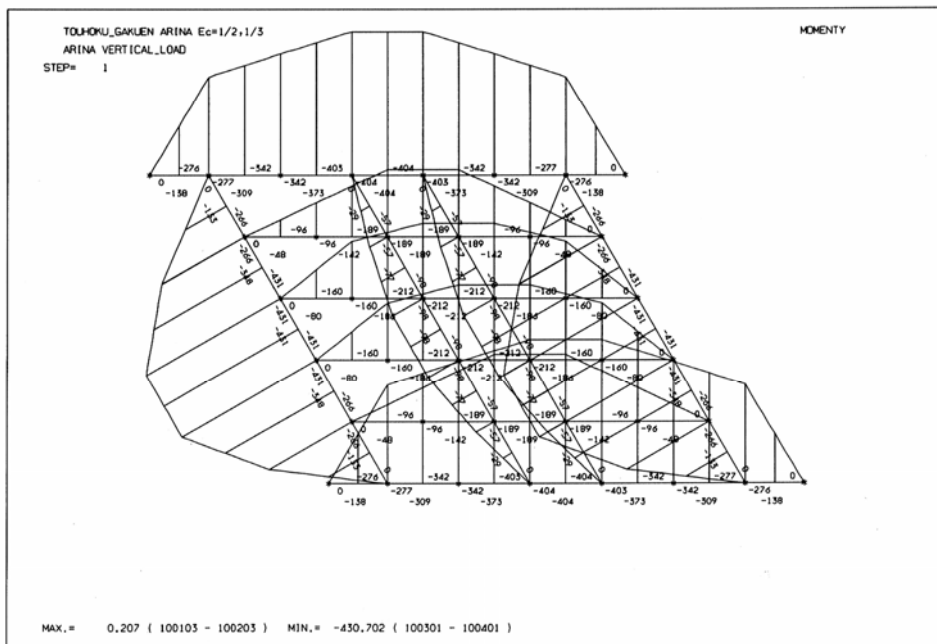
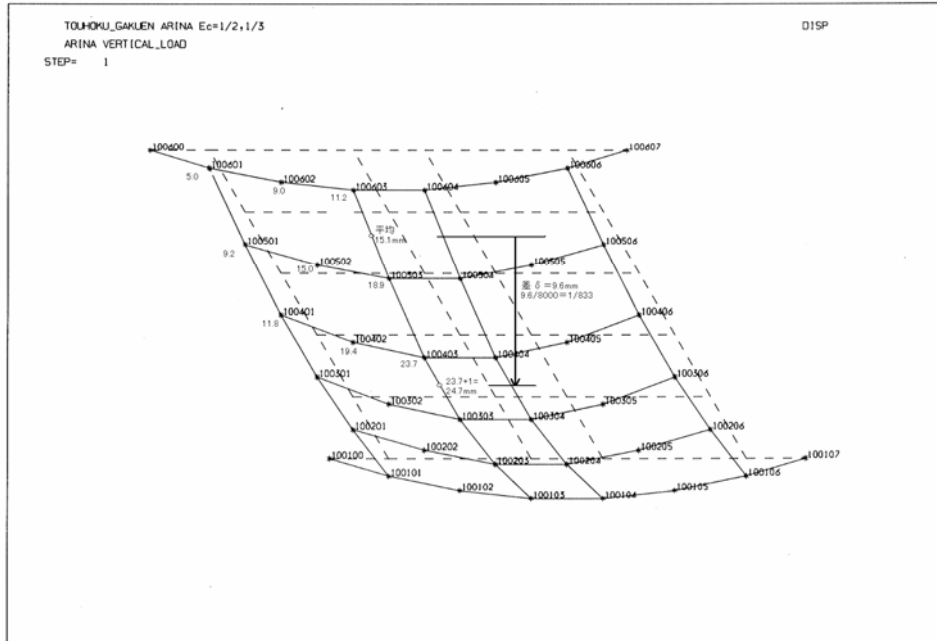


図2 応力図

FloorPlate の検討 ( l=14.4 Z=24 1mあたり )

土砂 + 水量 + FloorPlate = 137.2kN/m<sup>2</sup> = w

モーメント C = w × B × L × L / 12 = 2.84kNm

Mo = w × B × L × L / 8 = 4.31kNm

最大モーメント 1.3C = 3.69 k Nm < 24 × 15.7 / 100 = 3.77 OK

たわみ = 1/384 × w × B × L × L<sup>3</sup> / E · I = 0.75mm 1/663

Joist の検討 ( l=4877 Z=488 )

土砂 + 水量 + Joist+FloorPlate = 138.2kN/m<sup>2</sup> = w

モーメント C = w × B × L × L / 12 = 23.0kNm

Mo = w × B × L × L / 8 = 34.6kNm

最大モーメント 1.3C = 29.9kNm < 488 × 15.7 / 100 = 76.6 OK

たわみ = 1/384 × w × B × L × L<sup>3</sup> / E · I = 0.29mm(1/6945)

検討課題

[土槽フレーム上部鉛直固定]

土槽フレームの試験時転倒モーメントによる鉛直方向のガタを抑える方法として、フレーム上部を鉛直方向に固定するための方法・機構を検討すること。

検討にあたっては、固定するための荷重の導入方法・必要剛性・固定位置ならびに試験体・土槽外部架工との干渉に留意して行なうこと。

[ガイドブロック円周方向固定性能]

ガイドブロックに要求される円周方向の固定性能(耐荷重・剛性)を土槽フレームの試験時シミュレーション結果ならびに本体精度のバラツキより算定しガイドブロックの設計に反映させること。

[変位ストッパー固定性能]

変位ストッパーに要求される固定性能(耐荷重・剛性)を土槽フレームの試験時シミュレーション結果より算定し変位ストッパーの設計に反映させること。

[真空飽和用容器・土槽外部架工の固定方法]

真空飽和用容器の固定方法の検討。

土槽外部架工の固定方法の検討。

[解析検討]

より詳細な FEM (線材) モデルにより運搬時・真空飽和容器使用時の部材応力・変形を確認。

土槽テーブルならびに土槽フレームからなる数質点せん断型モデルに対して振動応答解析を行い各部の部材応力を確認

[製作方法・精度管理]

工場製作範囲ならびに現地製作範囲の確認

土槽フレームの製作精度確保のための検討。

土槽テーブル上面板の製作精度確保のための検討。

## b) 真空飽和用容器

要求条件・設計仕様

### < 要求条件 >

#### [最大気圧]

真空飽和用容器に加わる最大大気圧は 1083.8 hPa (地球上での観測最大値)とする。

#### [内空寸法]

有効内径 9400mm (せん断土槽外径 8500mm + 作業幅 450mm × 2)

有効高さ 7000mm (せん断土槽高さ 6500mm + 余裕 500mm)

#### [各部耐力検討]

運搬時に加わる荷重・強制変形に対して安全であること。

(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力)

建築基準法に定められた地震荷重・風荷重に対して安全であること。

(部材応力レベル降伏点応力)

上記気圧差に対して安全であること。(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力 円筒座屈安全率 5、柱材の座屈は長期座屈耐力以内)

### < 設計仕様 >

#### [真空飽和用容器の構造]

真空飽和用容器は円筒部と蓋部からなり、土槽テーブル上面板とによって内部に真空状態を確保できる構造とする。

円筒部は製作を容易とし、保管・運搬を容易とするため数段に分離された構造とする。円筒部は半径方向の大気圧差を円周方向の面内圧縮力として負担し、蓋からの鉛直力を面内圧縮力で鉛直方向に支持する。

蓋部は周囲を円筒部により単純支持された円形板構造とし、自己の曲げ耐力で大気圧差を負担し円筒部に鉛直力のみを伝える構造とする。

蓋部と円筒部、および円筒部各段の接合部はゴム等の弾性部材をはさみ、大気圧による圧縮力を有効に用いて気密性を高めた構造とする。なお、接合部は大気圧差が加わらない状態でも安全性を確保するためのボルト接合を行なう。

#### [真空飽和用容器の仕様]

真空飽和用容器各部は外気・水に対して耐候性を持つものとする。

鋼材においては耐候性鋼を用いるか、適切な防錆処理を行なうこととする。

ゴム等の高分子材料は大気中での劣化を抑えるため耐久性を抑えるための添加剤を用いたものとする。

各部の錆・劣化に対する保障期間は 15 年を目標とする。



試設計案

要求条件、設計仕様に基づく試設計案を図3に示す。

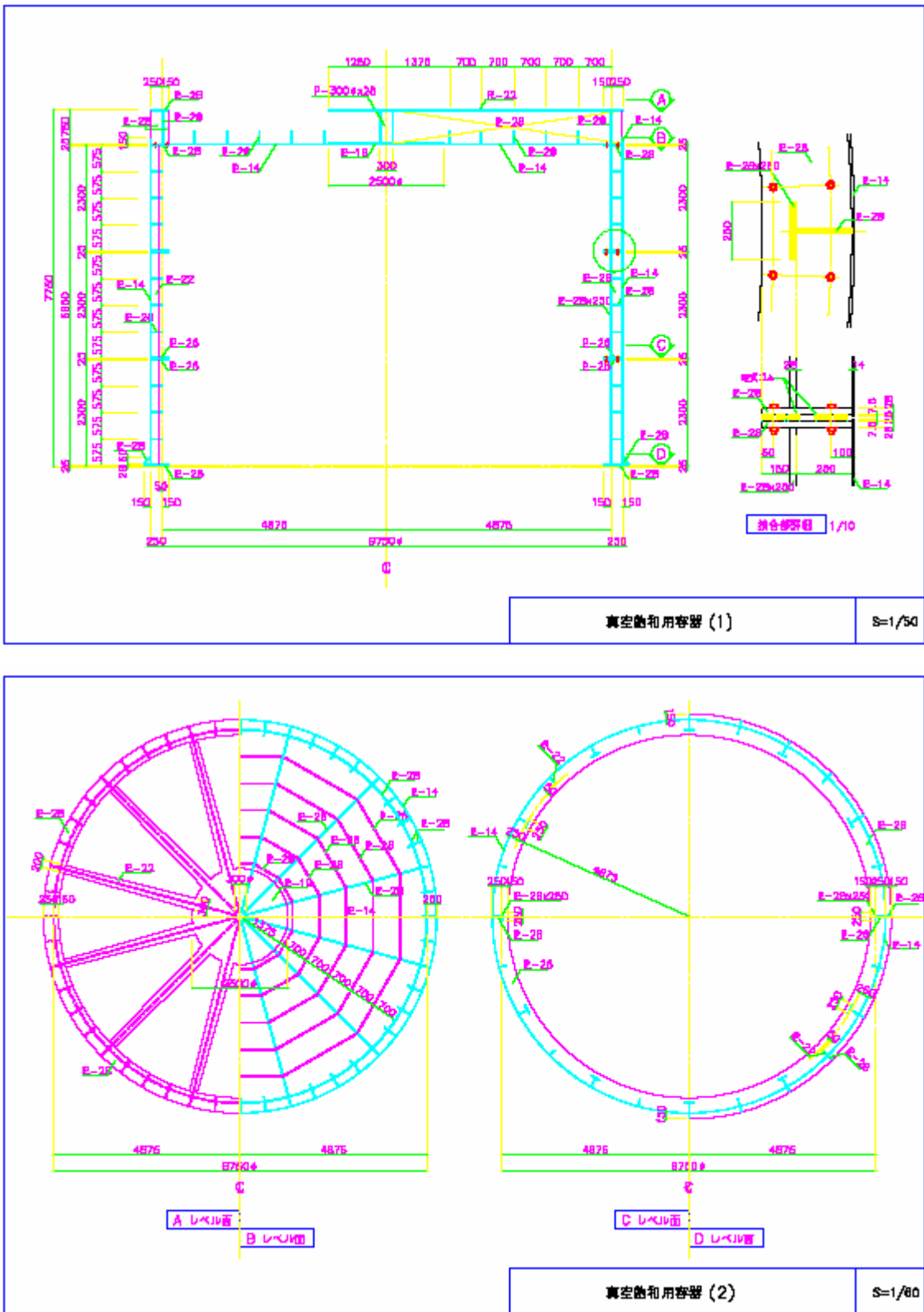


図3 真空飽和用容器の試設計図

## 真空飽和用容器の検討

最大大気圧 1083.8 hPa (地球上での観測最大値)

円筒の半径方向理論座屈荷重  $q_k$  (外圧) =  $3EI/r^3$

E : 弾性係数 I : 円筒断面 2 次モーメント : r 半径

円弧状構造物においては通常座屈現象に対する安全余裕度を 5 倍程度もたせる。

円筒の軸方向座屈荷重 : 円筒の軸方向座屈はさまざまなモードがありそれぞれ検討式が提案されているが、最も確実な方法として、筒部縦リブで全圧縮力を負担した場合にも座屈しないものとして検討する。

### < 試設計 >

( 検討にあたっては、自重は大気圧に比べて軽微なため無視する )

- ・ 内空高さ 7.0m
- ・ 内空径 9.75m
- ・ 最大荷重 108.4kN/m<sup>2</sup>
- ・ 部材設計 上記圧力および自重に対して長期許容応力度設計  
地震荷重 ( 建築基準法 ) に対して短期許容応力度設計
- ・ 形状円筒を常時保管しておくことはスペースの点からも問題と考えられるため分割して運搬可能な形状とする。( 接合部はゴム等により気密性を確保する )  
円筒部は工場製作可能な寸法で設計、上部蓋部は現地にて製作する。

- ・ 全体座屈安全性

$$\text{必要 } q_k = 5 (\text{安全率}) \times 108.4 \text{ kN/m}^2 = 542.0 \text{ kN/m}^2 = 0.0542 \text{ kN/cm}^2$$

$$E = 20500 \text{ kN/cm}^2 \quad r = 487.5 \text{ cm}$$

$$\text{必要 } I = q_k \times r^3 / 3E = 102.1 \text{ cm}^4 (\text{高さ } 1 \text{ cm あたり})$$

( 鋼板のみでは t 107mm となる )

- ・ 筒部鋼板の検討

1 : 外圧力による一様圧縮応力度 ( 円周方向 ) ( 鋼板のみで負担と仮定 )

2 : 上下支持点間の曲げ応力による縁応力度 ( 正負 ) ( 上下方向 )

3 : 上部蓋よりの圧縮応力度 ( 上下方向 ) ( 鋼板のみで負担と仮定 )

$$f^2 = 1^2 + (3 - 2)^2 - 1 \times (3 - 2) \quad ( f = 2/3F \text{ 規格降伏点} )$$

$$2/f + 3/f_c \leq 1.0 \quad ( Z : \text{断面係数} \quad f_c : \text{長期許容圧縮応力度} )$$

板厚 t = 14mm と仮定 上下支点間 575mm F = 32.5 kN/cm<sup>2</sup> ( S N 400 材 )

$$\text{断面積 } A = 140 \text{ cm}^2 / 1\text{m} \quad \text{断面係数 } Z = 32.67 \text{ cm}^3 / 1\text{m}$$

$$\text{断面二次半径 } i = 0.404 \text{ cm} \quad = 148.5 \quad f_c = 4.60 \text{ kN/cm}^2$$

外圧力による一様圧縮力

$$108.4 \text{ kN/m}^2 \times 9.75 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} / 2 = 528.45 \text{ kN} (\text{高さ } 1 \text{ m あたり})$$

$$1 = 528.45 \text{ kN} / 100 \text{ cm} / 1.4 \text{ cm} = 3.77 \text{ kN/cm}^2$$

上下支持点間の曲げ応力

$$108.4 \text{ kN/m}^2 \times 0.575^2 \times 1/12 = 2.99 \text{ kNm}$$

( 幅 1 m あたり 両端固定の固定端モーメント )

$$2 = 2.99 / 32.67 \times 100 = 9.15 \text{ kN/cm}^2$$

上部蓋よりの圧縮力

$$(108.4 \text{ kN/m}^2 \times 9.75^2 / 4 \times \quad) / (9.75 \times \quad) = 264.23 \text{ kN (長さ 1 m あたり)}$$

$$3 = 264.23 \text{ kN} / 100 \text{ c m} / 1.4 \text{ c m} = 1.89 \text{ kN/c m}^2$$

$$\frac{f^2}{2} = \frac{1^2 + (3 - 2)^2 - 1 \times (3 - 2)}{2}$$

$$\frac{(15.7 \text{ kN/c m})^2}{2} = \frac{3.77^2 + (1.89 - 9.15)^2 - 3.77 \times (1.89 - 9.15)}{2}$$

$$\frac{246.5}{9.15} = \frac{94.3}{15.7} + \frac{1.89}{4.60} = 1.0 \quad \text{OK}$$

・円周方向リブの検討

必要曲げ剛性  $I = 102.1 \text{ c m}^4$  (高さ 1 c m あたり)

リブ板厚  $t = 28 \text{ mm}$  リブ高さ 250 mm と仮定 上下支点間 575 mm (リブ間隔)

必要  $I = 102.1 \times 57.5 \text{ c m} = 5871 \text{ c m}^4$

リブ部の曲げ剛性はリブと筒部板からなる C T 型断面として算定する。

筒部板の有効範囲は板厚  $\times 8$  (幅厚比 F A ランク) とする

想定断面 C T - 250  $\times$  224  $\times$  28  $\times$  14

$I = 6395 \text{ c m}^4$  必要  $I = 5871 \text{ c m}^4$  OK

・鉛直リブの検討

上下方向の鉛直力は鉛直リブと筒部板からなる仮想 C T 断面柱にて下部に伝えるものとして検討する。

リブ板厚  $t = 28 \text{ mm}$  リブ高さ 250 mm と仮定 支持柱本数 12 本

軸力  $N = 108.4 \text{ kN/m}^2 \times 9.75^2 / 4 \times \quad / 12 \text{ 本} = 674.4 \text{ kN}$

仮想柱の耐力は下記の C T 型断面として算定する。

想定断面 C T - 250  $\times$  250  $\times$  28  $\times$  28

断面積  $A = 132.2 \text{ c m}^2$  断面二次半径  $i_x = 7.65 \text{ c m}$   $i_y = 5.28 \text{ c m}$

$L = 700 \text{ c m}$   $\quad = 91.5$   $f_c = 7.83 \text{ kN/c m}^2$

長期許容軸力  $N_a = 132.2 \times 7.83 = 1035.1 \text{ kN}$   $674.4 \text{ kN}$  OK

・上部蓋部の検討

上部蓋は放射状に設けた梁にて筒部仮想柱に上部からの大気圧を伝えるものとして検討する。

蓋部に加わる大気圧  $W = 108.4 \text{ kN/m}^2 \times 9.75^2 / 4 \times \quad = 8093 \text{ kN}$

放射梁本数 6 本 1 本あたり  $W = 8093 / 6 = 1349 \text{ kN}$

曲げモーメント  $M = 1349 \text{ kN} / 2 \times 9.75 \text{ m} / 2 - 1349 \text{ kN} / 2 \times 9.75 \text{ m} / 2 \times (2 / 3)$   
 $= 1096 \text{ kNm}$

設計断面 H - 750  $\times$  334  $\times$  28  $\times$  22 (中央部)

$Z = 7384 \text{ c m}^3$   $f = 23.5 / 1.5 = 15.7 \text{ kN/c m}^2$

曲げ耐力  $M_a = f \times Z = 15.7 \times 7384 / 100 = 1159 \text{ kNm}$   $1096 \text{ kNm}$  OK

検討課題

[解析検討]

より詳細な FEM モデルにより全体部材応力を確認。全体座屈安全性を検討。

[震動台テーブル上組立方法]

震動台テーブル上での組立方法・作業足場等に関する検討。

[製作方法・精度管理]

工場製作範囲ならびに現地製作範囲の確認  
真空飽和用容器の製作精度確保のための検討。

2) 直方体剛体土槽と真空飽和用上部蓋の試設計

要求条件・設計仕様

< 要求条件 >

[土量・水量の最大値]

運搬時 5500 kN 試験時 6500 kN (土砂 + 水)。

[容量]

底面 18000mm × 4000mm 槽内有効高さ 5000mm

[許容重量]

直方体剛体土槽のみの重量で実験準備棟内での許容揚重量 1500 kN 以内。

[最大気圧]

真空飽和用上部蓋を用いて内部を真空とする場合に加わる最大大気圧は 1083.8hPa  
(地球上での観測最大値)とする。

[各部耐力検討用慣性力]

運搬時に加わる荷重・強制変形に対して安全であること。(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力)

試験時土水圧は静止土圧係数 0.5 + 地震時土圧 0.3(上下方向一定)程度 + 水圧程度を想定して検討すること。(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力)

真空飽和用上部蓋を用い内部を真空とした場合、上記気圧差に対して安全であること。  
(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力)

[運搬時許容変形・許容転倒角]

土槽テーブルたわみ 目標 10mm 以内。(全体たわみ  $1/1800$  以内)

転倒角目標  $1^\circ$  以内。

< 設計仕様 >

[基本構造]

直方体剛体土槽は上部が開放された直方体の土槽。

真空飽和用上部蓋は、これにより直方体剛体土槽上面を塞ぐことにより内部気密状態とできる蓋とする。

[直方体剛体土槽・真空飽和用上部蓋の構造]

直方体剛体土槽鋼製の土槽で内部に土砂を入れた状態で運搬可能な構造とする。

直方体剛体土槽の長辺側壁面には観察用の窓を備えた構造とする。窓はアクリル等により土水圧に耐えられる構造とする。

直方体剛体土槽は気密性を確保した上板と運搬時・揚重時ならびに真空飽和用容器使用時の荷重に対して所定の剛性を持つものとする。

直方体剛体土槽には揚重用のフック取り付け金物ならびに実験準備棟から実験棟までの運搬装置に必要な金物類を備えたものとする。

直方体剛体土槽は震動台テーブルと所定の強度で取り付け可能なものとする。

真空飽和用上部蓋は鋼製で上面からの大気圧を受け直方体剛体土槽の壁に鉛直力として伝えるとともに、直方体剛体土槽の壁が受ける大気圧を上部で支えるものとする。直方体剛体土槽上部は運搬時・試験時に壁が受ける土水圧を支えるため、上部に壁間の支持材を設けた構造とすることができる。

直方体剛体土槽と真空飽和用上部蓋部の接合部はゴム等の弾性部材をはさみ、大気圧による圧縮力を有効に用いて気密性を高めた構造とする。なお、接合部は大気圧差が加わらない状態でも安全性を確保するためのボルト接合を行なう。

低板上には透水板（パールコーン）を設け、低部より水の供給可能なものとする。

[直方体剛体土槽・真空飽和用上部蓋の仕様]

直方体剛体土槽・真空飽和用上部蓋各部は外気・水に対して耐候性を持つものとする。鋼材においては耐候性鋼を用いるか、適切な防錆処理を行なうこととする。

ゴム・アクリル等の高分子材料は大気中での劣化を抑えるため耐久性を抑えるための添加剤を用いたものとする。

各部の錆・劣化に対する保障期間は15年を目標とする。

試設計案

要求条件、設計仕様に基づく試設計案を図4に示す。

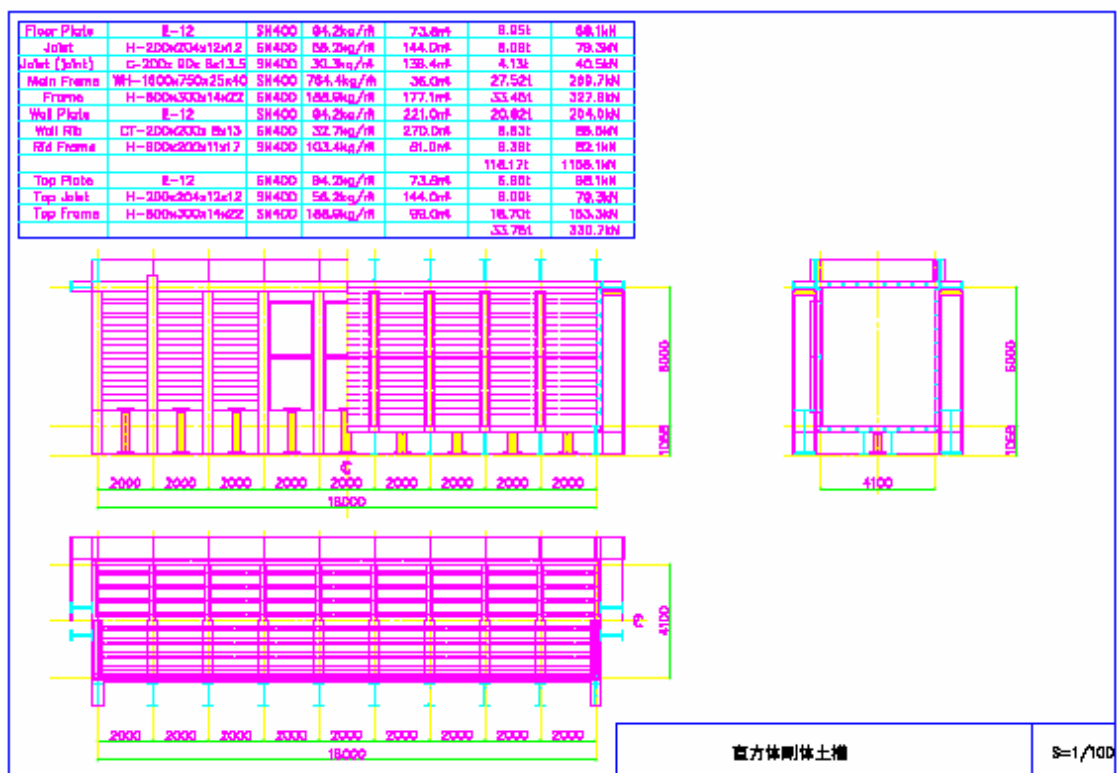


図4 直方体剛体土槽の試設計図

直方体剛体土槽の検討

以下の荷重条件に基づき、直方体剛体土槽の変形・耐力を確認する。全体変形は実験棟内で揚重した際の変形を算定する。耐力は真空時ならびに揚重時で確認する。

< 設定荷重 >

土槽フレーム 全 150 t  
土砂 全 550 t (底面に等分布)

< 揚重時の検討 >

・変形の検討

吊り位置を長手方向吊り間隔 14.0m として変形量を検討する。

全重量 150+550 = 700 t は均等に分布するものとする。(  $w = 38.89 \text{ t/m} : 381.12 \text{ kN/m}$  )

変形は下部の主梁 WH - 1600 x 750 x 25 x 40 のみの剛性によるものとして算出する。

$$I = 4382827 \text{ cm}^4 \quad E = 20500 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{片側分布荷重 } w = 19.45 \text{ t/m} : 190.56 \text{ kN/m}$$

$$L1 : \text{吊り間隔 } 14.0\text{m} \quad L2 : \text{両側はね出し長さ } 2.0\text{m}$$

$$\begin{aligned} (\text{中央}) &= 5/384 \times w \times L1^4 / EI - 1/16 \times w \times L2^2 \times L1^2 / EI \\ &= 1.06 - 0.10 = 0.96 \text{ cm (下向き)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{両端}) &= 1/8 \times w \times L2^4 / EI - 1/24 \times w \times L1^3 \times L2 / EI \\ &= 0.0042 - 0.4850 = -0.48 \text{ cm (上向き)} \end{aligned}$$

中央部でのたわみは  $0.96/1400 = 1/1458$  となる。

・応力の検討

揚重時の曲げ応力を主梁 WH - 1600 x 750 x 25 x 40 のみにて負担した場合の応力を算定する。

$$\begin{aligned} M_{\text{中央}} &= 1/8 \times w \times L1^2 - 1/2 \times w \times L2^2 \\ &= 4669 - 64 = 4605 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{吊り位置}} &= 1/2 \times w \times L2^2 \\ &= 64 \text{ kNm} \end{aligned}$$

各部材断面・耐力表

	重量 (kgf/m)	断面二次 モーメント(cm <sup>4</sup> )	断面係数 (cm <sup>3</sup> )	長期許容曲げ モーメント(kNm)	
WH-1600x500x25x50	765	4382827	54785	8601	主梁

< 真空時・土圧の検討 >

フレームに作用する荷重としては側部に土圧が加わらず、真空時の外圧のみが作用した場合が最も大きいと考えられるため、この際の状態にて検討を行なう。

なお、この際フレーム上部は Rid Frame で固定されているため、フレーム支柱の応力検討用モデルは上部単純支持、下部固定とする。

・応力の検討

外圧  $108.4 \text{ kN/m}^2$ 、幅 2m より  $w = 216.8 \text{ kN/m}$

支柱長さ  $L = 5.5\text{m}$

$$M_{\text{下部}} = 1/8 \times w \times L^2 = 819.8 \text{ kNm}$$

各部材断面・耐力表

	重量 (kgf/m)	断面二次 モーメント(cm <sup>4</sup> )	断面係数 (cm <sup>3</sup> )	長期許容曲げ モーメント(kNm)	
H-800x300x14x22	189	254107	6353	997	Frame

FloorPlate および Joist は底部似て検討する。

$$\text{土砂 + 水量} = 6500 \text{ kN} \quad \text{底面積 } 18\text{m} \times 4.1\text{m} = 73.8\text{m}^2 \quad w = 88.1\text{kN/m}^2$$

FloorPlate の検討 (l=14.4 Z=24 1mあたり)

$$\text{土砂 + 水量} + \text{Joist+FloorPlate} = 89.0\text{kN/m}^2 = w$$

$$\text{モーメント } C = w \times B \times L \times L / 12 = 2.76\text{kNm}$$

$$M_o = w \times B \times L \times L / 8 = 4.01\text{kNm}$$

$$\text{最大モーメント } 1.3C = 3.59 \text{ kNm} < 24 \times 15.7 / 100 = 3.77 \text{ OK}$$

$$\text{たわみ} = 1/384 \times w \times B \times L \times L^3 / E \cdot I = 1.02\text{mm} \quad 1/5896$$

Joist の検討 (l=4877 Z=488)

$$\text{土砂 + 水量} + \text{Joist+FloorPlate} = 90.1\text{kN/m}^2 = w$$

$$\text{モーメント } C = w \times B \times L \times L / 12 = 18.0\text{kNm}$$

$$M_o = w \times B \times L \times L / 8 = 27.0\text{kNm}$$

$$\text{最大モーメント } 1.3C = 23.4\text{kNm} < 488 \times 15.7 / 100 = 76.6 \text{ OK}$$

$$\text{たわみ} = 1/384 \times w \times B \times L \times L^3 / E \cdot I = 0.23\text{mm} (1/8696)$$

検討課題

[解析検討]

より詳細な FEM (線材) モデルにより運搬時・真空飽和用上部蓋使用時ならびに試験時土水圧に対する部材応力・変形を確認。

[製作方法・精度管理]

工場製作範囲ならびに現地製作範囲の確認  
製作精度確保のための検討。

### 3) 液状化実験のための真空飽和装置とその排土装置の概略計画

要求条件・設計仕様

液状化実験のための真空飽和装置と排土装置は、円形せん断土槽実験と直方剛体土槽実験で同じ装置で行う。

間隙水に脱気水を用い地盤を真空飽和法により飽和させる。1回の地盤飽和のためには脱気水 150m<sup>3</sup>が必要であり、容量 50m<sup>3</sup>の真空タンクを3個用意する。真空タンクは脱気水をつくるため、タンク中に回転するはねをもったものとする。真空ポンプの仕様は次項の試設計案の図に示したものを基本としてさらに実施設計で検討する。真空飽和システムの配管の経路と長さや径、配管の支持構造、レギュレーター、バルブ類は実施設計にて決定する。

実験終了後に地盤を解体するため、土槽内に水を注入しながらサンドポンプで土砂分離槽に排土する。土砂分離槽で砂分と水を分離し、水は土砂分離槽に設置したポンプで土槽内へ戻す。排土装置には、サンドポンプ、土砂分離槽ポンプ、配管類、バルブが必要である。これらの仕様や配管経路、支持構造については、次項の試設計案の図に示したものを

基本としてさらに実施設計で検討する。

試設計案

要求条件、設計仕様に基づく試設計案を図5に示す。

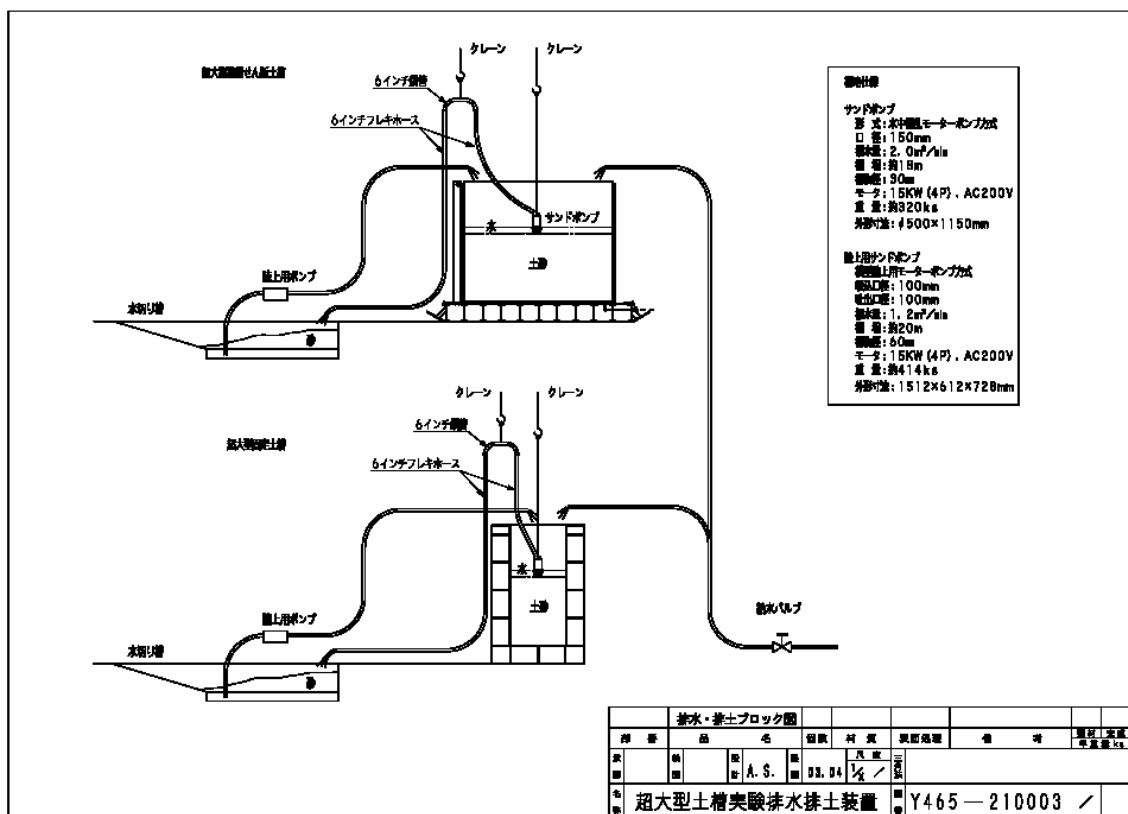
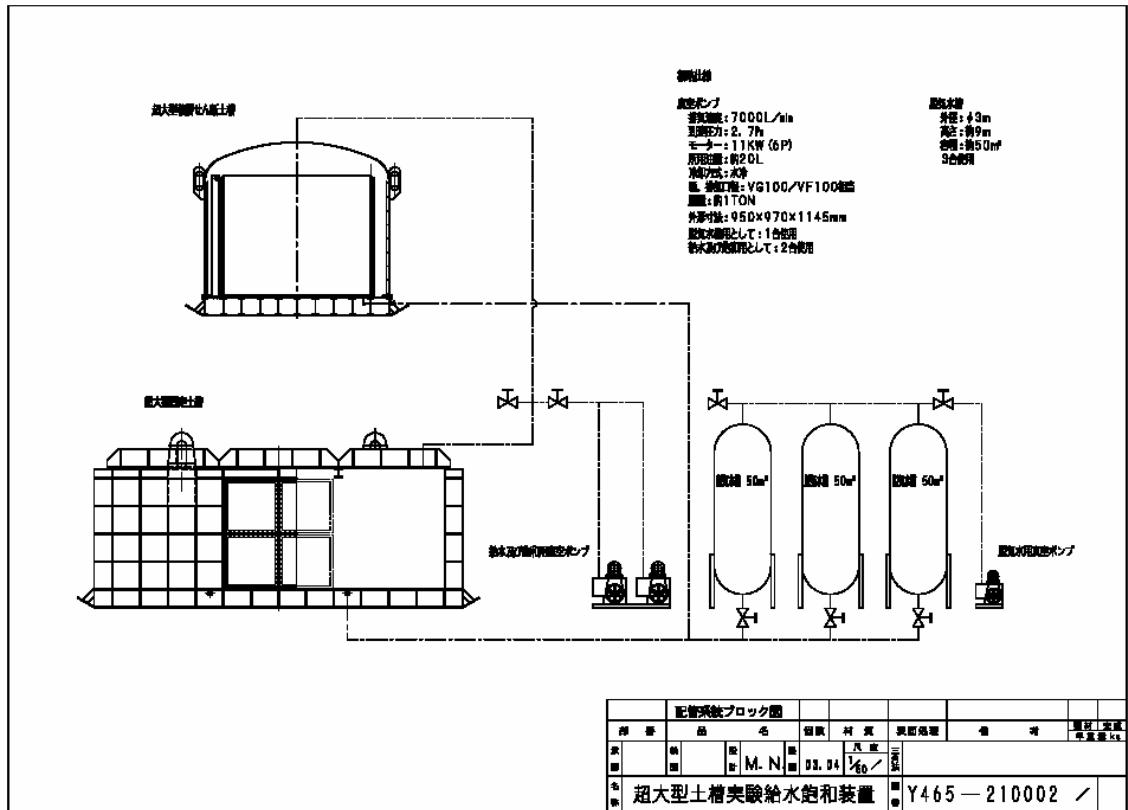


図5 真空飽和装置とその排土装置の試設計図



#### 4) 円形せん断土槽・直方体剛体土槽の吊上げ治具の概略計画

方針・仕様

実験棟内における吊り上げ治具は震動台テーブル揚重用の治具を用いる。

実験棟天井走行クレーン 最近接吊り間隔 13300mm以上。

吊り支点間隔 9558mm以下。

吊り支点には 600mm 滑車が必要。

吊上げ治具図

円形せん断土槽と直方剛体土槽の吊り上げのイメージを図6に示す。

検討課題

実験棟内における土槽の吊り上げは可能であるが、今後、真空飽和用容器組み立て用ならびに実験準備棟内の吊り上げ治具の調査・設計が必要となる。

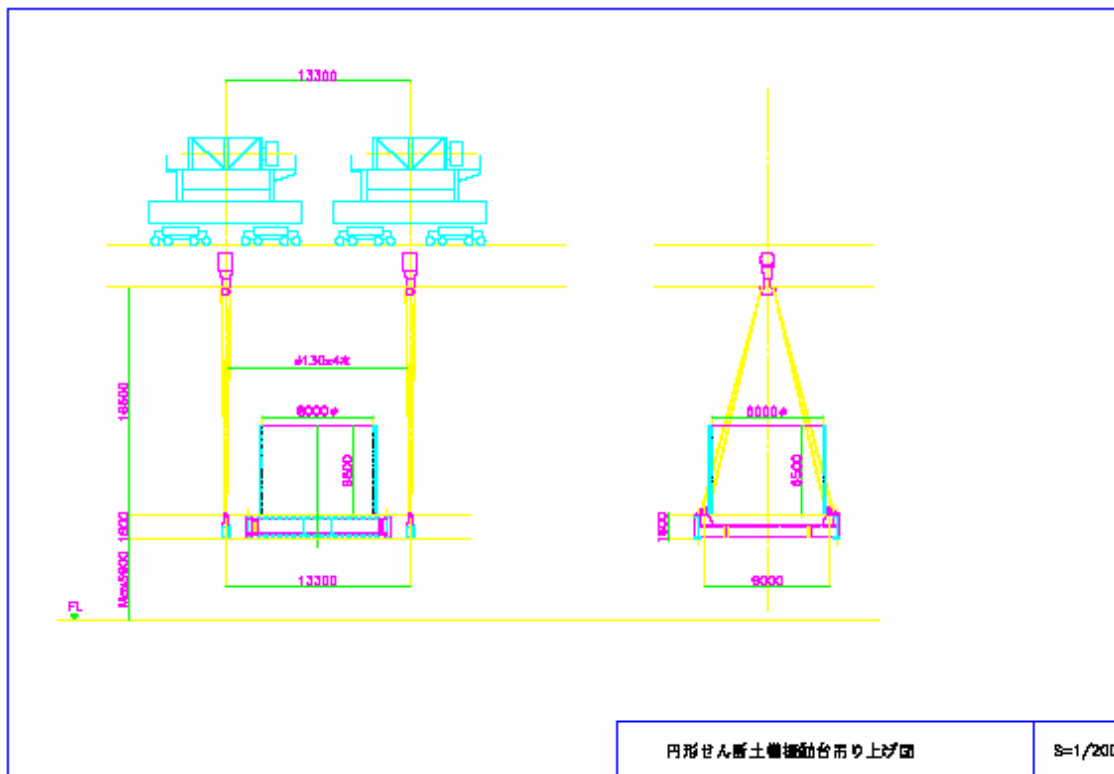


図6 . 1 円形せん断土槽の吊り上げ

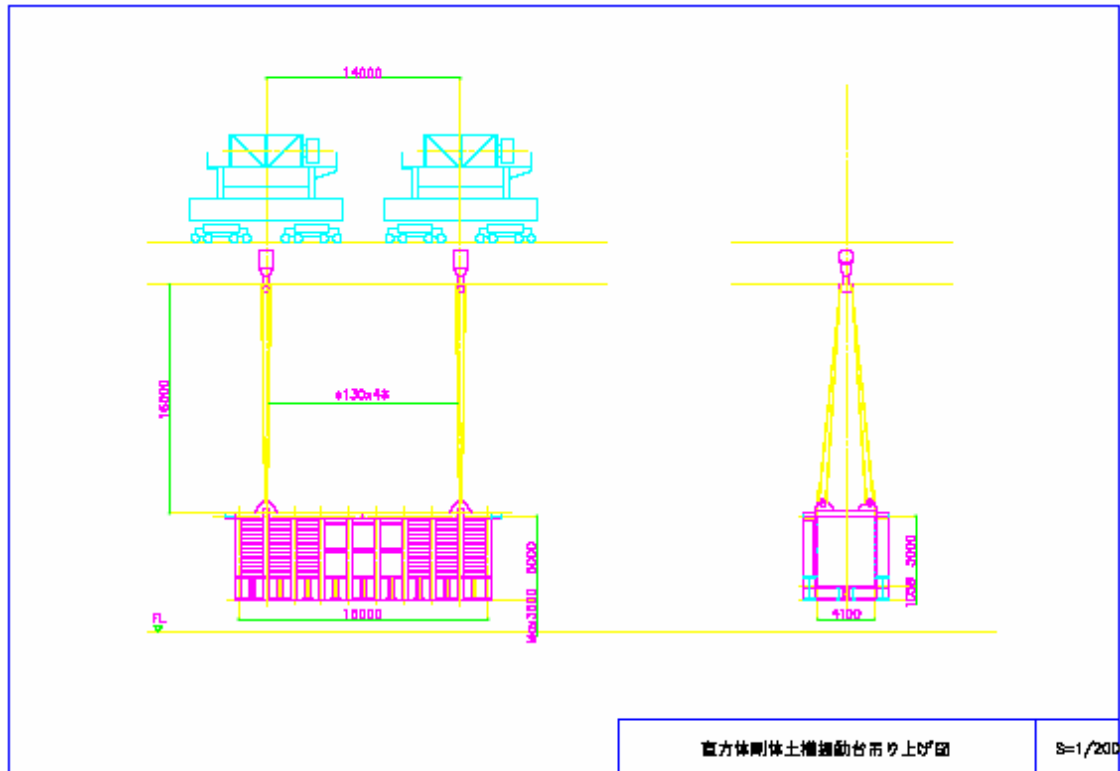


図 6 . 2 直方体剛体土槽の吊り上げ

## 5) 土槽外部架工の概略計画

仕様・要求条件

< 要求条件 >

[取り付け設備]

計測・観測装置、仕様は今後の検討課題とする。

円形せん断土槽上部固定治具については今後の検討課題とする。

(試験時の反力フレームには用いないものとする)

[取り付け可能重量]

上記を踏まえ今後の検討課題とする。

[せん断土槽最大水平変形に対するクリア]

せん断土槽の最大変形：高さの  $1/10 = 650\text{mm}$  に対し土槽廻りの付属設備は  $1\text{m}$  のクリアを取ること。

せん断土槽上部鉛直固定用の設備と干渉しないこと。

せん断土槽上部試験体(中心から  $2000\text{mm}$ 、移動範囲は中心から  $4000\text{mm}$ )と干渉しないこと。

[振動性状]

固有振動数  $1.5\text{Hz}$  以上、目標は  $2.0\text{Hz}$  (正弦波加振は  $5\text{Hz}$  まで行う予定)

[各部耐力検討用慣性力]

運搬時に加わる荷重・強制変形に対して安全であること。(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力)

入力地震動 0.5G 程度に対して安全であること。(部材応力レベル  $1/1.5 \times$  降伏点応力)  
入力地震動は告示波・臨海波等の基準地震動とする。

## 6) 地盤運搬装置の概略計画

### 仕様・要求条件

実験準備棟において実験土槽内に作成した未飽和地層供試体を、実験棟天井クレーン吊り位置まで運び入れるため、ならびに実験終了後の供試体を実験棟より実験準備棟に運び出すための装置。

#### < 要求仕様 >

##### [最大積載荷重]

800 t (実験棟天井クレーン容量 400 t  $\times$  2 台と同等)

##### [最大走行距離]

約 110m

##### [走行速度]

特に規定しないが、走行所要時間として半日(4 時間)以内とする。

##### [走行面の状態]

建屋(実験棟・実験準備棟)内 : コンクリート床面

屋外ヤード 1 : コンクリート舗装の上に半剛性アスファルト舗装  
(排水勾配・排水溝有り)

#### < 運搬装置の概観 >

800 t の充填された土槽を運搬できる現実的な装置・手法で考えられるものとして、

- ) エアキャスター
- ) エアローラー
- ) ユニットローリー (超重量特殊車輛)
- ) パワーリフト

などがあるが、ユニットローリーは 1 台当り荷台 3m  $\times$  9m に対して 200t 強とやや能力が不足する。(4 台必要となるが、全荷台に荷重を等分に分担できない) また、パワーリフトは横移動も可能であるが、揚重(ジャッキアップ)が主なため長距離の横持ち実績も少なく、レールの敷設も必要となる。したがって、エアキャスターおよびエアローラが現実的な運搬装置と判断する。

#### < エアキャスター >

##### [機構と特徴]

圧縮空気(または高圧水:ウォーターキャスター)をパネル状ユニット下部より吹出し、ポークラフトの原理で積載物を数~10cm 弱浮上させ、摩擦を切る。(摩擦係数  $1/1000 \sim 5/1000$  程度)

##### [メーカー]

米国 AeroGo 社およびライセンス供与されたメーカー

##### [能力]

54 t / 60in(1200mm  $\times$  1200mm)モジュール 最低 16 モジュールが必要

##### [実績]

超重量運搬については、世界的に見ても日本の建設業での実績が多い。(最大 3000 t のケーソン移動)

[問題点]

揚程が小さく噴出空気で浮上させているため、床面の平滑度・水平度・気密性が求められる。現地の状態では、屋外ヤードの舗装を修正するか、鋼板敷き養生などが必要。

<エアローラー>

[機構と特徴]

耐圧性・気密性のある円筒状バッグ(チューブ)を圧縮空気で風船状に膨張させ、空気のコロとして使うもの。剛体のコロと異なり柔軟性に富むため、摩擦係数が路面の状態に左右され難い(摩擦係数 1/1000 程度)。また、エアクッションとして衝撃が少ない運搬が可能。エアキャスターと同様に、荷切・運搬・荷卸の 3 つの働きを兼ね備える。

[メーカー]

東洋ゴム工業

[能力]

50 t / 640×10,000mm(基本型) 最低 5 本程度必要

[実績]

輸送実験はあるが、実績については調査中。

[問題点]

運搬はコロ引き作業となるため、走行に伴いエアローラを後ろから前に移動させる必要があり、この作業に人手と時間を要すると思われる。また、エアキャスターとことなり、暴走を止める手段に欠ける。

検討資料

検討資料としてエアキャスター及びエアローラーの概略仕様と参考図を以下に示す。

<エアキャスター>

[概略仕様]

ロードモジュール : 6K60UHDL (60UHDL×6) × 3 基

容量 : 326ton/基 (合計 978ton/3 基)

コントロールボックス : BN86×1 台/基

エアホース : 1in.×6m×6 本/基

エアコンプレッサー : 350KPa×250 l/sec×3 台

<エアローラー>

[概略仕様]

エアローラ : 基本型 640×10,000mm×6 本

エアコンプレッサー : max.700KPa 程度

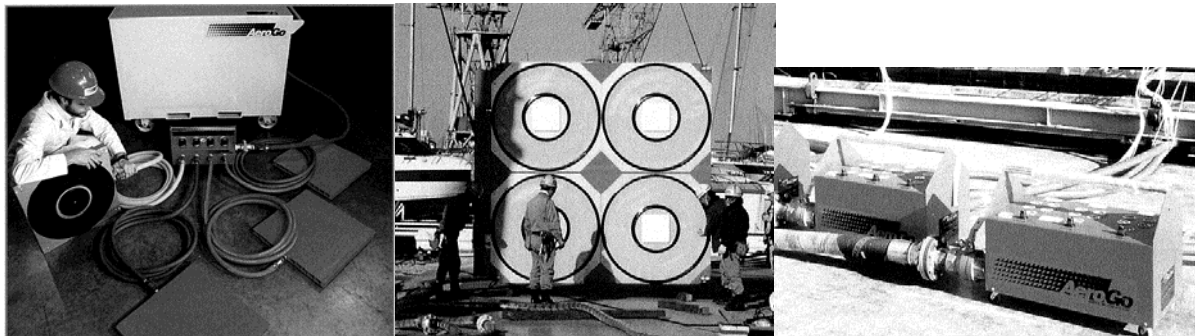
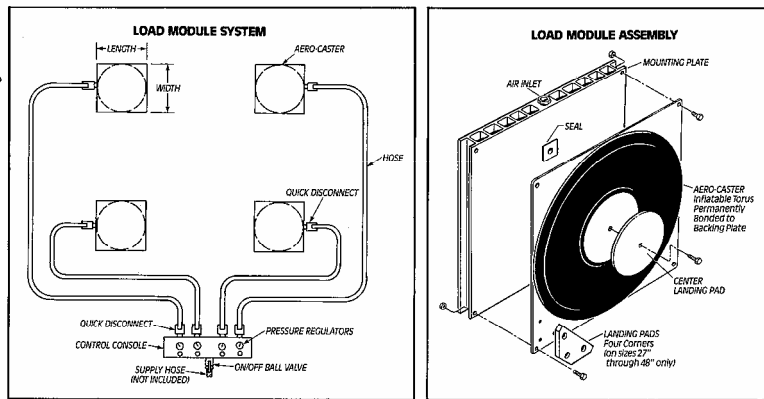
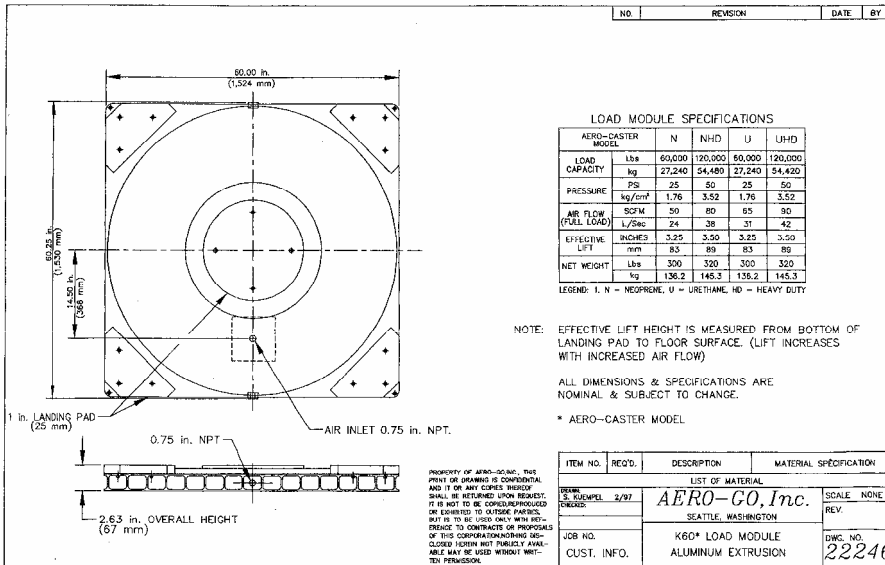
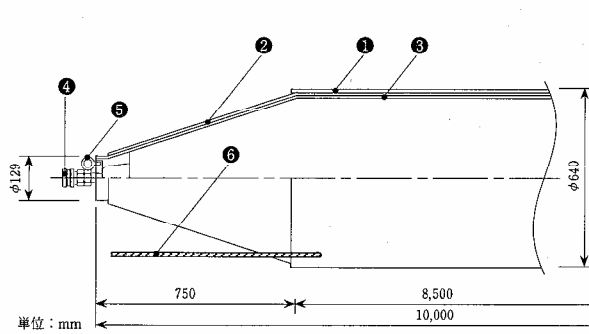


図7 エアキャスターの参考図

基本型 (サイズ  $\phi 640 \times 10,000\text{mm}$  内容積:  $2.7\text{m}^3$  重量:  $390\text{kg}$  最大支持荷重:  $250\text{t}$ )



単位: mm

① ストレート管  
弾性に富み、路面によく食いつき、チューブや搬送物を保護する。

② テーパー管  
障害物からチューブを保護する。耐圧保護。

③ チューブ  
気密性の高いチューブ。内圧保持。

④ 吸排気バルブ (カプラー式)  
搬送物の種類や路面の地盤によって内圧を自在に調節できる。使用しない時は排気し、容積を減らして保存できる。

⑤ フック  
左右両端に各1個付き。

⑥ ロープ  
左右両端に各2本付き、強靱な材質。フックを通してフォークリフトやリフトでの出し入れ、移動用に便利。

※用途に合わせて、直径、長さや構造を設計します。



写真: HARMS BERGUNG 社の AIRBAG TRANSPORT

図 8 エアローラーの参考図

#### (d) 結論ならびに今後の課題

E - ディフェンスでの地盤 - 構造物系に必要な実験設備を整備するため、以下の検討を行った。

- 1) 円形せん断土槽と真空飽和用容器の試設計
- 2) 直方体剛体土槽と真空飽和用上部蓋の試設計
- 3) 液状化実験のための真空飽和装置とその排土装置の概略計画
- 4) 円形せん断土槽・直方体剛体土槽の吊上げ治具の概略計画
- 5) 地盤運搬装置の概略計画

この検討結果を基に、来年度の実設計につなげる。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
M. Sato A. Abe M. Mohajeri	Ultra Large Laminar Box Designed Sample Preparation Plan for Tests on the Largest Shake Table in the World	The 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, University of California, Berkley	2004年1月

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア購入

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成16年度業務計画案

H16年度は、平成17年度にE-ディフェンスでの地盤-構造物系実験設備を製作するための実施設計を行う。H16年度の実施設計と平成17年度の実験設備を製作はそれを実施するための費用が非常に大きいため、E-ディフェンスの施設整備（施設整備補助金）の業務の一環として実施することとする。

