

3.3.1 地盤 - 杭基礎 - 構造物の三次元非線形動的相互作用の実験

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 ヶ年の年次実施計画
- (e) 平成 14 年度業務目的

(2) 平成 14 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 実験装置
 - 2) 実験条件
- (c) 業務の成果
 - 1) 地盤条件と作成状況
 - 2) 実験結果
- (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 15 年度業務計画案

- (a) 業務計画
- (b) 実施方法
- (c) 目標とする成果

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地盤 - 杭基礎 - 構造物の三次元非線形動的相互作用の実験

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
独立行政法人 農業工学研究所	室長	毛利 栄征

(c) 業務の目的

地盤および構造物の地震時の安全性を解明するためには、地盤そのものの三次元的な挙動解明が不可欠であるとともに、地盤と構造物の動的な相互作用を実験的に明らかにすることは極めて重要である。

本業務は、二方向せん断土槽を用いた杭および地盤の三次元振動実験を実施して、多方向入力（水平面内での二方向振動、水平及び鉛直震動）が地盤及び杭の挙動に及ぼす影響を明らかにすること、地盤の剛性や杭の剛性が動的破壊挙動に及ぼす影響を解明するための詳細なデータを蓄積すること、及びEディフェンスでの実験計画に資する基礎資料を得ることを目的とする。

(d) 3カ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

地盤に挿入する杭を試作し、均一地盤での振動実験を実施する。

乾燥地盤と飽和地盤を対象として、水平一方向振動時における地盤と杭の挙動を明らかにする。

水平面内での二方向振動実験を実施して、多方向振動時の杭と地盤の挙動を明らかにして、入力の多方向性の影響を検証する。

2) 平成15年度：

平成14年度と同様に均一地盤を対象として水平一方向振動時における地盤の液状化が杭の挙動に与える影響を明らかにする

鉛直振動と水平振動が同時に作用する場合について、地盤の液状化の発生と杭の振動性状を明らかにする。

杭上部に設けた構造物の影響を検討するために、上部構造物と地盤の固有周期を変えて、杭と地盤の動的相互作用を明らかにする。

3) 平成16年度：

地盤内部に非液状化層や剛性の異なる層を設ける振動実験を実施し、地盤と杭の動的相互作用を明らかにする。すなわち、地盤内部に水平な非液状化層がある場合を対象として、この複合地盤と杭の動的相互作用を求める。

液状化抵抗力の異なる層が積層している場合の振動実験を実施することにより、

間隙水圧の消散、すなわち、有効応力の低下と回復過程での杭の挙動を明らかにし、地盤と杭の三次元的相互作用のメカニズムを解明する。

(e) 平成14年度業務目的

乾燥地盤と飽和地盤を用いた振動実験を実施し、水平一方向振動時における地盤と杭の挙動を明らかにする。

水平二方向の同時加振の振動実験を実施して、多方向振動時における杭と地盤の挙動を明らかにする。

(2) 平成14年度の成果

(a) 業務の要約

平成14年度は次の各項目を実施した。

- 1) 標準砂を用いた均一地盤（乾燥地盤、飽和地盤）に杭（外径32mmのステンレス製として、杭間隔が直径の約10倍の2×2の4本杭モデル）を設置したモデル地盤の三次元振動実験を実施し、杭基礎及び地盤の動的挙動に関する詳細データを得た。
- 2) 実験データの分析により、杭に発生する振動方向の曲げモーメントは杭頭部で最大となる非線形な分布を示しており、乾燥地盤の場合は2次のモードが卓越し、飽和地盤では1次モードが卓越することがわかった。
- 3) 水平二方向の同時加振の実験結果の解析から、杭に発生するひずみの最大値は杭全域に亘ってほぼ同時に発生することが確認された。杭に発生するひずみから計算した杭の変位応答はせん断土槽のラミナープレートの動きと同じであった。また、杭に作用する土圧と杭の変位の関係は、線形なヒステリシスから次第に非線形性を示しふくらみを持ったループを描くこと、飽和地盤ではサイクリックモビリティに似た挙動を示すことが確認できた。

(b) 業務の実施方法

1) 実験装置

a) 振動台

振動台の外観を写真1に仕様を表1に示す。3次元6自由度の制御が可能で、入力波については振動台に所定の重量の疑似模型を設置しておき、予備加振によって波形補正を行い実際の駆動入力波を作成した。

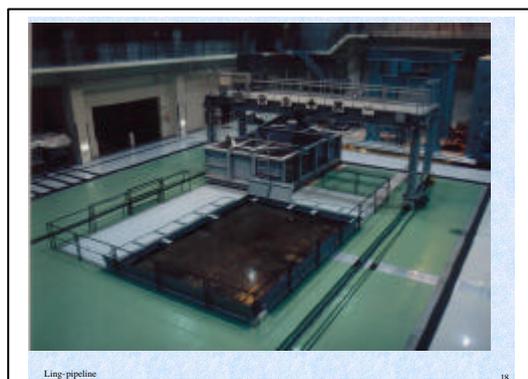


写真1 振動台の概観

表1 振動台の仕様

項目	仕様
テーブルサイズ	4 m x 6 m
駆動方式	電気油圧サーボ方式
加振方向	水平2軸(X, Y)、垂直1軸(Z)
最大搭載質量	50 トン
最大加速度	±500Gal
最大速度	X & Y : ±75 cm/s、Z : ±50 cm/s
最大変位	X & Y : ±15 cm、Z : ±5 cm
回転角度	±2 度
加振周波数	DC ~ 40 Hz
測定システム	110 ch

b) せん断土槽

せん断土槽は、写真2、図1に示すように内径1.8m、高さ1.5mの円筒形のせん断土槽(30段のプレートによって構成)である。土槽内面には防水用のゴムシートが設置され底面部には注水装置がある。これを利用して地盤のボーリングなどが可能である。プレートはアルミハニカム構造を採用して剛性を確保するとともに、軽量化を進めている。1枚の重量は約17kgfで、内部に設置される地盤重量に対して1/15になっている。



写真2 せん断土槽の外観

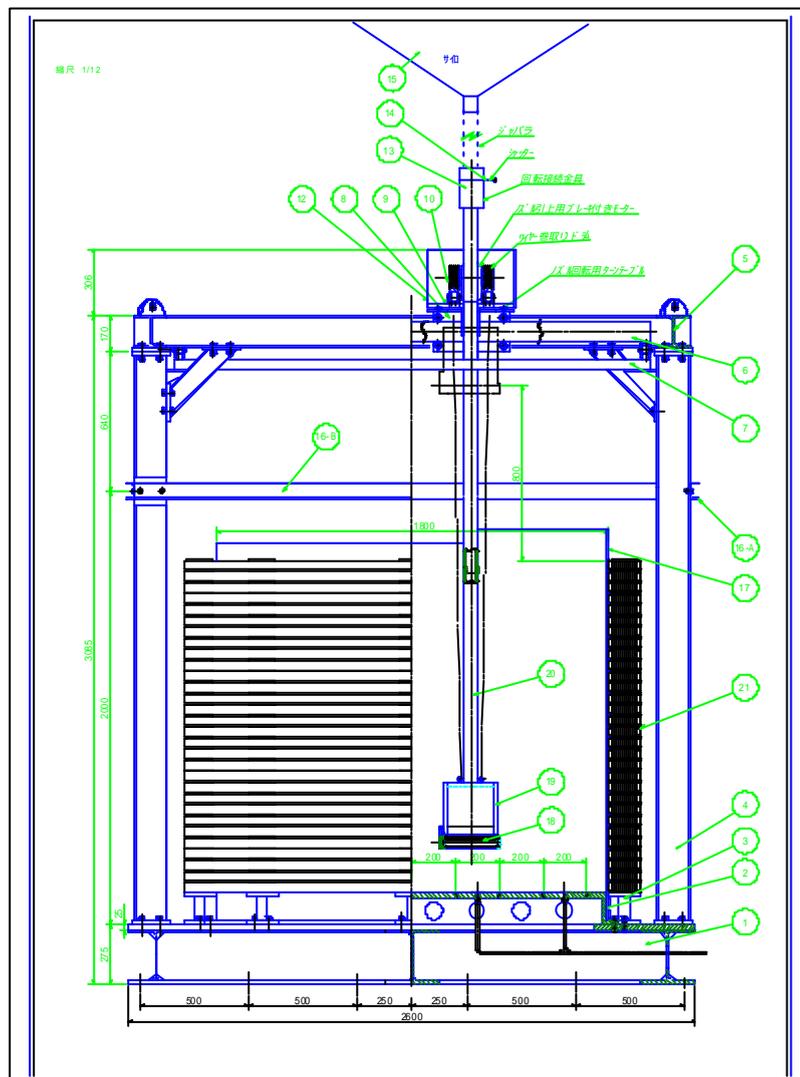


図1 せん断土槽断面

2) 実験条件

地盤と杭基礎の三次元非線形動的相互作用を解明するための振動実験としては、以下のような要因の検討が必要である。

杭基礎の強度・変形性能

地盤の強度・剛性

入力波の多方向性

上部構造物の影響

杭の模型については、ステンレス管を使用するが管厚を調整して杭の強度と変形性能を変化させることとする。また、模型地盤は緩い状態と密な状態を作成し、乾燥状態の地盤と液状化が生じるような地盤についても試験することとして、地盤の強度・剛性の影響を検討する。

入力振動については、地震波を使用することとするが、まず水平一方向の場合を検討し、水平面内二方向振動の影響や鉛直振動が加わった時の影響についても検討することとする。

地震波は3成分が揃っている十勝地震(1968年)を用いた。

a) 地盤作成

乾燥地盤の場合は標準砂を用いて空中落下によって均一な地盤を作成する。

せん断土槽に杭基礎の下端部分を固定する。

下端部分にはボールジョイントをセットする。

杭基礎の上部に4本の杭を連結するプレートをセットし、杭基礎を固定する。

豊浦砂をホッパーから一定流量で管理しながら土槽内に落下させて地盤を作成する。

ホッパー先端部には多重ふるいを設置して、砂を分散させて均一な地盤を作成する。

飽和地盤の作成方法は、土槽に張った水中に砂を落下堆積させて作成するが、2回目以降の実験ではボイリングによって地盤の再生を行うこととする。

土槽の底板に設けた注水装置によって地盤に上昇流を発生させる。

同時に地盤地表面からも圧力水を地盤内部まで注入し、地盤の流動化を促進する。

地表面上部に貯まった水は、水中ポンプによって土槽底板からの注水装置に送られ循環する。

土槽内の地盤が完全に流動化することを確認して、注水を完了する。

地盤表面に排水機能を持った載荷板をセットして、振動を加えて地盤表層部分の圧縮を促進する。ただし、振動時間については、地盤作成後の貫入試験によって決定する。

b) 杭基礎モデル

2本×2本の杭基礎とする(図2参照)。それぞれの杭頭部は梁で固定して一体化する。杭は表3に示す直径32mm、肉厚1.0mmのステンレス管で、杭間隔は直径の約10

倍とする。

No.1とNo.4杭の内面には軸方向にひずみゲージを接着した。ひずみゲージの間隔は図2に示すように杭頭に近い部分は5cm間隔として1断面に4点で計測してX, Y方向の曲げひずみを算出できるようにした。

上部構造のモデルを図3, 4に示す。杭の上端部を連結している部分は47.1kg(37.4+9.7kg)で、上部の構造物は58.7kgである。支柱は直径36mmの丸鋼として重量は9.4kgであった。

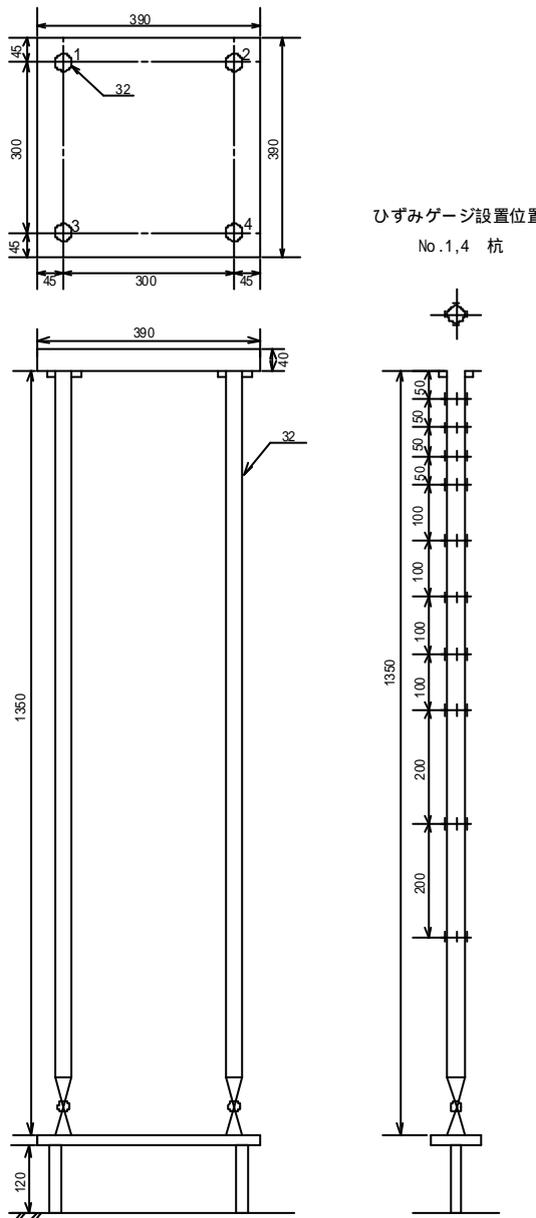


図2 杭モデルとひずみゲージの位置

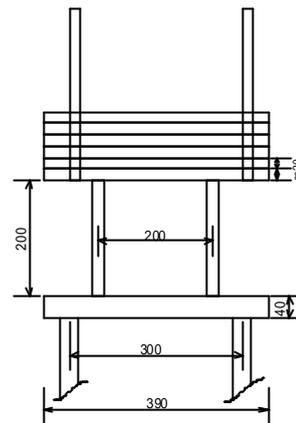


図3 上部構造物の基本形状

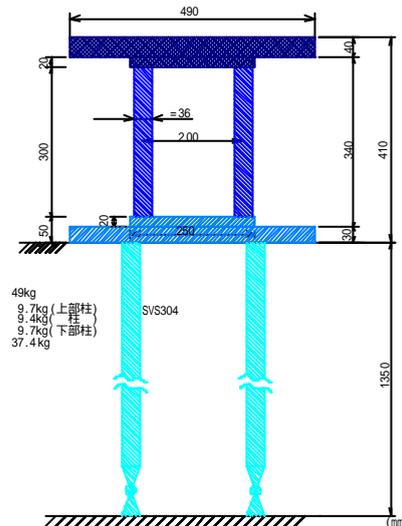


図4 上部構造物の形状
(H14年の実験モデル)

表3 杭モデル

	杭本数	杭肉厚	杭材料	その他
杭モデル1	2 × 2 本	1.0mm	SUS304	

c) 計測器と計測位置

表4 に示す計測器を図5 に示すように配置した。

表4 計測器

計器名称	測定位置	測定 ch 数
加速度計	構造物	6
	杭	6
	地盤内	3 0
	土槽フレーム	2 0
	振動台	3
変位計	構造物	2
	土槽フレーム	2 0
	地表面	3
間隙水圧計	地盤内	2 0
ヒズミゲージ	杭	4 0
ロードセル	杭底部	4

() 地盤内加速度計と間隙水圧計の設置方法

地盤内のセンサーは、杭と平行に地盤内部に挿入したジオグリッドの帯に固定した。このジオグリッドの帯は土槽底板に一端を固定しており、地表面上部から一定のテンションを与えることによって、方向性を維持できるようにしている。ただし、加速時計については、あらかじめ幅3cmのアルミ板をジオグリッドに取り付けておきこれをベースとしてセンサーを固定した。加速度計の設置状況を写真3に示す。

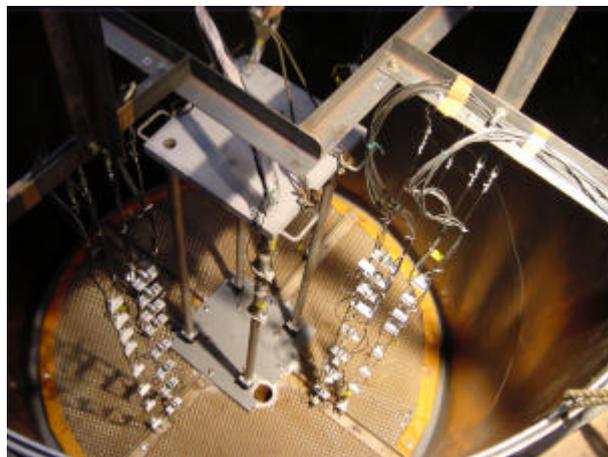


写真3 加速度計の設置状況

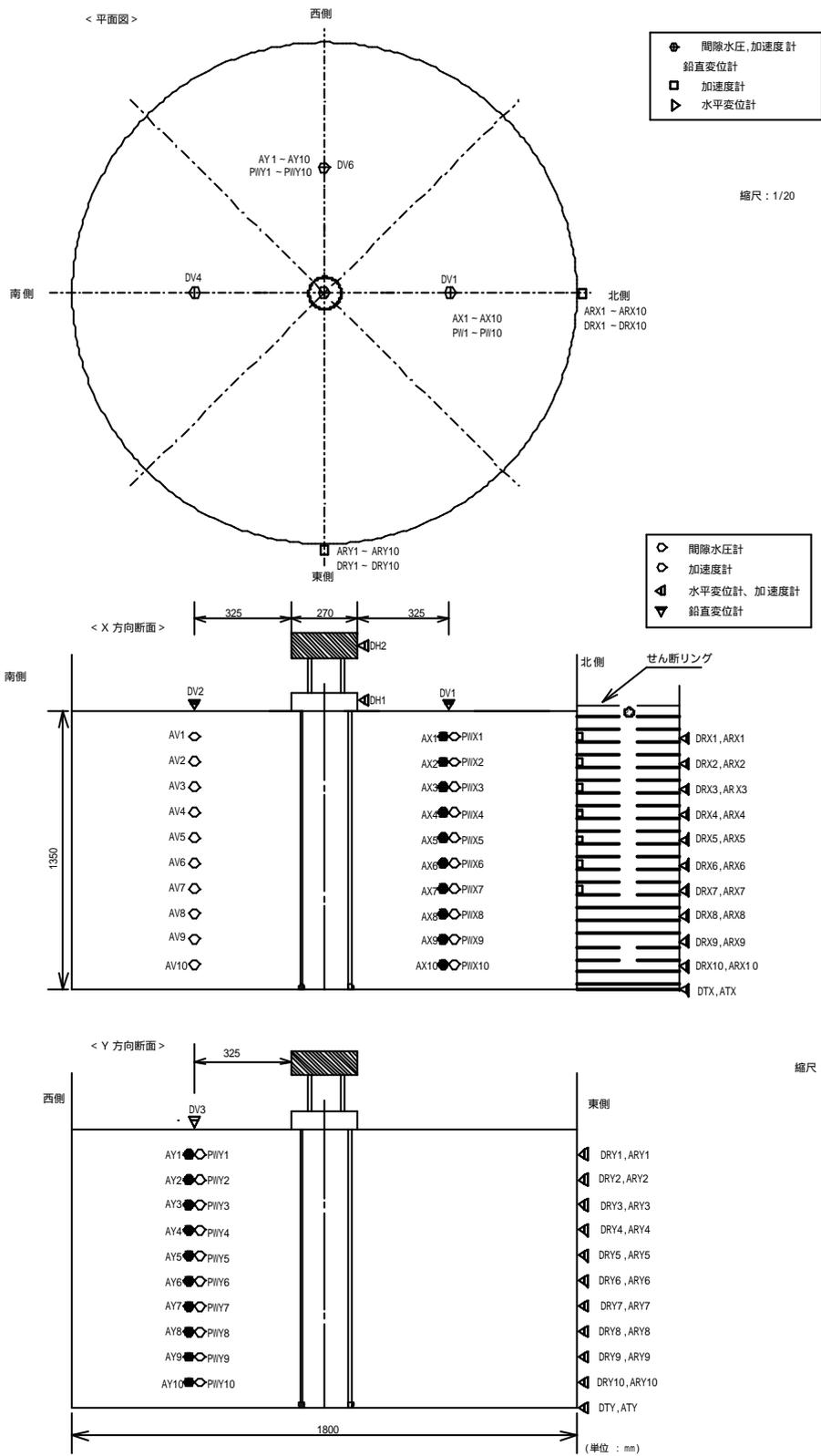


図5 センサーの配置

d) 入力波

地震動のデジタル記録が三成分そろっている地震動の中から、代表的な十勝沖地震(1968年)の八戸での記録波形を用いることとして、時間軸を模型に於いて $1 / (5)(1 / 2.236)$ に圧縮する。十勝沖地震の三成分は図6に示す通りである。

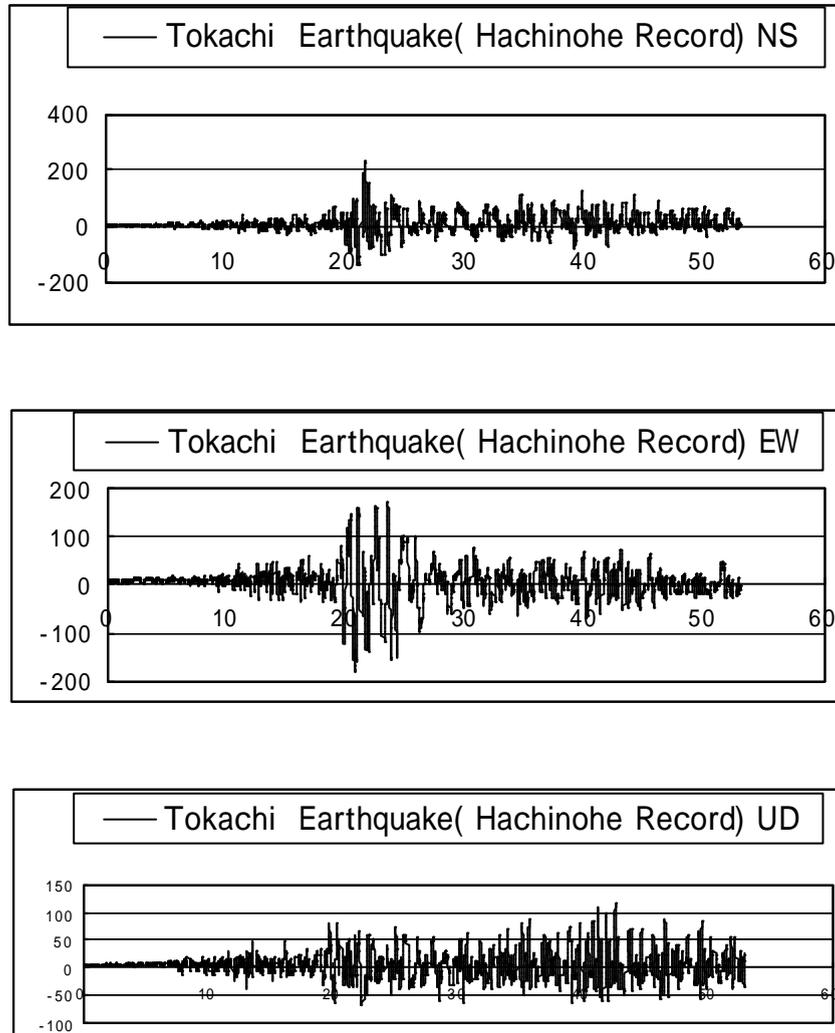


図6 入力地震波(十勝沖地震)

e) 実験ケース

表5に平成14年度に実施した実験ケースとそれぞれの条件を示す。杭の挙動に大きな影響を及ぼす地盤条件は緩い状態と密な状態の2種類とした。なお、以下の実験結果では、実験ケースを()内の記号を用いている。

表5 実験ケースと条件(平成14年度)

実験ケース	地盤条件	地盤作成方法	密度条件	加振波条件
CASE1 (HCNS05)	乾燥地盤	空中落下	緩詰め	X方向 250Galの地震波
CASE2 (HCNS05a)	乾燥地盤	空中落下	密詰め (中程度)	X方向 250Galの地震波
CASE3 (HCXY05)	乾燥地盤	空中落下	緩詰め	X&Y方向 250Galの地震波
CASE4 (HCXY05a)	乾燥地盤	空中落下	密詰め	X&Y方向 250Galの地震波
CASE5 (HCNSR502)	飽和地盤	水中落下	密詰め	X方向 250Galの地震波
CASE6 (HCNS05aw1)	飽和地盤	ボーリング	緩詰め (中程度)	X方向 250Galの地震波
CASE7 (HCXYR501)	飽和地盤	ボーリング	密詰め	X&Y方向 250Galの地震波
CASE8 (HCXZR501)	飽和地盤	ボーリング	密詰め	X&Z方向 250Galの地震波