

港湾構造物の設計震度算出システム

解析例とシステム概要

港湾構造物設計事例集ではFLIP(沿岸開発技術研究センター)を用いて解析しています。
ここでは同じ地盤モデルを使用し、本システムのSHAKE互換モードで解析した結果を掲載します。SHAKE(等価線形化法)の適用性について判断する資料としてご利用下さい

港湾構造物設計事例集解析例

[第2編1章 ケーソン式係船岸](#)

[第2編2章 直杭式横棧橋](#)

[第2編4章-矢板式係船岸\(控え直杭式\)](#)

システム概要

[最大ひずみについて](#)

[収束誤差について](#)

[液状化する地盤の解析について](#)

[入力地震動について](#)

[SHAKE と DYNEQ について](#)

[本システムが対象とする解析モデルについて](#)

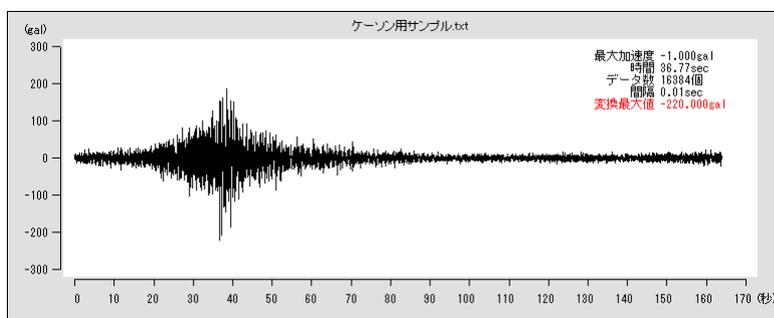
事例集 第2編 1章-ケーソン式係船岸モデルを SHAKE 互換モードで解析

地盤モデル

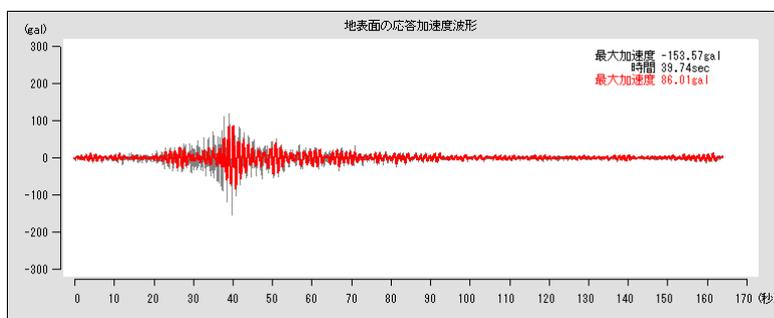
No.	層上限標高 (m)	空中重量 湿潤・飽和 (kN/m ³)	水中重量 (kN/m ³)	せん断波速度 (m/sec)	材料特性	層-層減衰 α	層-層減衰 β	静止土圧係 数	層分割厚 (m)
1	3.500	18.000	10.000	134.000	0	0.000	0.00000	0.500	1.000
2	0.600	20.000	10.000	180.000	0	0.000	0.00000	0.500	1.000
3	-10.000	16.000	6.000	127.000	2	0.000	0.00000	0.500	1.000
4	-26.000	17.000	7.000	169.000	2	0.000	0.00000	0.500	1.000
5	-30.000	20.000	10.000	300.000	0	0.000	0.00000	0.500	0.000

- ・粘性土の材料特性は『港湾基準: 塑性指数IP=30以上』とした。
- ・地下水位面: 0.6m
- ・せん断波速度VsはFLIP解析データの値(134m/sec)を採用。砂質土層のN値(=9)から推測すると約180m/secとなるが、解析結果の影響は微小。

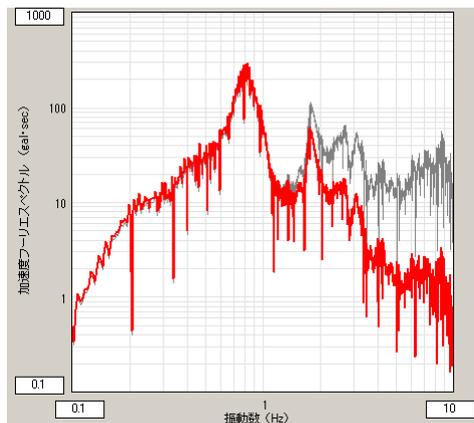
工学基盤-入射波形 Max:-220(gal)



地表面-応答波形 Max:-153(gal) フィルター処理後のMax:86(gal)



加速度フーリエスペクトル



フィルター条件

- ・背後地盤の固有周期 : 0.922 (s)
- ・ケーソン下地盤の固有周期 : 0.441 (s)
- ・壁高 : 18.3 (m)
- ・許容される変形量 : 10 (cm)
- ・地盤改良による逓減率 : 0.75

$$b = 1.050 \times \frac{18.300}{15.000} - 0.880 \times \frac{0.922}{0.800} + 0.960 \times \frac{0.441}{0.400} - 0.230 = 1.095$$

H = 18.300mとした場合 $0.812 \leq b \leq 1.172$ より、

b = 1.095 となる。

地震動の継続時間補正

補正に用いる低減係数

$$p = 0.36 \times \ln(S/a_f) - 0.29$$

$$= 0.36 \times \ln(1450.358/86.010) - 0.29 = 0.727$$

$p \leq 1.0$ より、

$p = 0.727$ となり、最大加速度補正值は

$$a_c = 0.727 \times 86.010 = 62.532 \quad (\text{gal})$$

ここに、

p : 低減率 ($p \leq 1.0$)

S : フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗和平方根

a_f : フィルター処理後の加速度最大値

a_c : 補正した地表面最大加速度

※計算に使用した値

0.72703830

1450.35795710

86.00963216

62.53229648

照査用震度の特性値

地盤改良効果により、地表面最大加速度の低減を行う

$$a_c = 0.750 \times 62.532 = 46.899 \quad (\text{gal})$$

照査用震度の特性値

$$k_h = 1.78 \times \left(\frac{D_a^{-0.55} a_c}{D_r} \times \frac{1}{g} + 0.04 \right)$$

$$= 1.78 \times \left(\frac{10.000^{-0.55} \times 46.899}{10} \times \frac{1}{980} + 0.04 \right) = 0.125$$

ここに、

k_h : 照査用震度の特性値

a_c : 地表面における地盤の最大加速度補正值 (cm/s^2)

g : 重力加速度 ($=980\text{cm/s}^2$)

D_a : 許容される変形量 (cm)

D_r : 基準変形量 ($=10\text{cm}$)

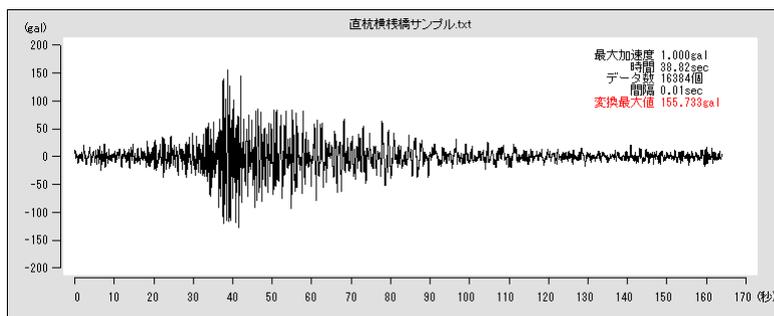
事例集 第2編 2章-直杭式横棧橋モデルをSHAKE 互換モードで解析

地盤モデル

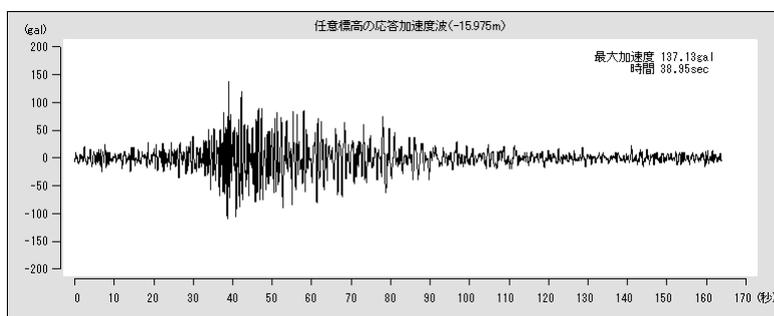
No.	層上限標高 (m)	空中重量 湿潤・飽和 (kN/m ³)	水中重量 (kN/m ³)	せん断波速 度(m/sec)	材料特性	レ-レ-減衰 α	レ-レ-減衰 β	静止土圧係 数	層分割厚 (m)
1	-7.600	20.000	10.000	297.000	0	0.000	0.00000	0.500	1.000
2	-18.000	19.100	9.080	260.000	0	0.000	0.00000	0.500	1.000
3	-29.500	20.000	10.000	210.000	0	0.000	0.00000	0.500	1.000
4	-33.000	20.000	10.000	300.000	0	0.000	0.00000	0.000	0.000

- ・2-28(表-2.6 解析土層の物性値)の基準初期せん断剛性G_{ma}からせん断波速度V_sを推測した。
- ・1/β 位置の標高を-15.975m(棧橋中央)とした。

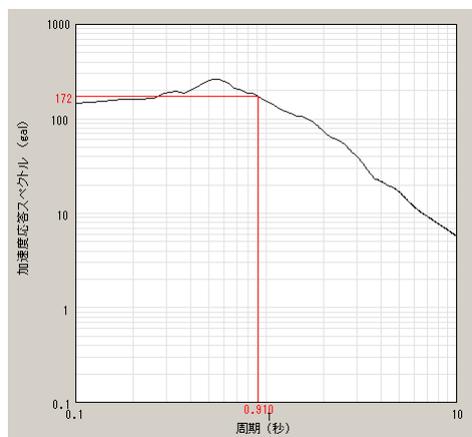
工学基盤-入射波形 Max:-155(gal)



1/β 位置-応答波形 Max:-137(gal)



加速度応答スペクトル



- ・減衰定数 : 0.2
- ・横棧橋の固有周期 : 0.91(s)
- ・固有周期に対する加速度応答スペクトル : 172(gal)

- ・照査用震度の特性値

$$K_h = 172.147 / 980 = 0.176$$

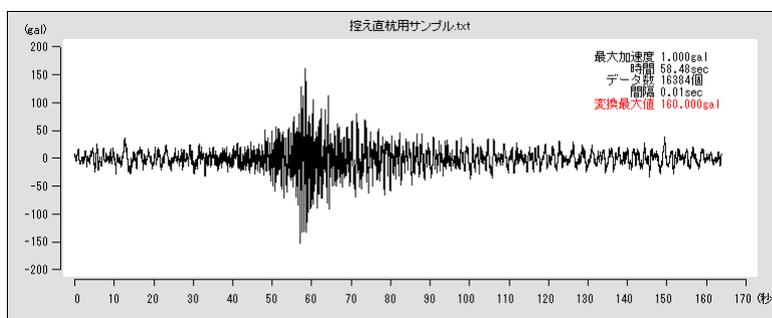
事例集 第2編 4章-矢板式係船岸（控え直杭式）モデルをSHAKE 互換モードで解析

地盤モデル

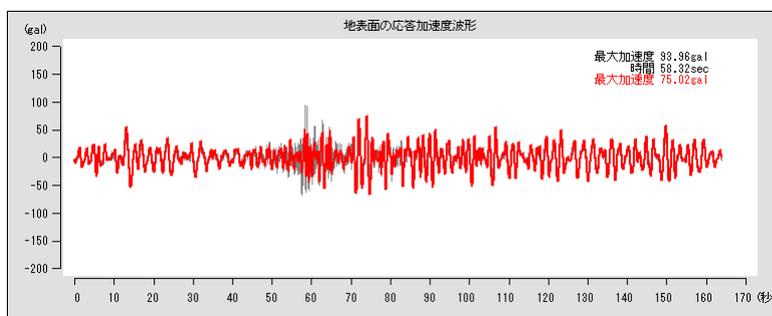
No.	層上限標高 (m)	空中重量 湿潤・飽和 (kN/m ³)	水中重量 (kN/m ³)	せん断波速度 (m/sec)	材料特性	レベル減衰 α	レベル減衰 β	静止土圧係 数	層分割厚 (m)
1	3.000	18.000	18.000	205.000	0	0.000	0.00000	0.000	2.000
2	1.000	20.000	10.000	194.000	0	0.000	0.00000	0.000	2.000
3	-8.100	20.000	10.000	195.000	0	0.000	0.00000	0.000	2.000
4	-11.000	20.000	10.000	259.000	0	0.000	0.00000	0.000	2.000
5	-17.500	16.300	6.300	110.000	2	0.000	0.00000	0.000	2.000
6	-24.500	17.700	7.700	168.000	2	0.000	0.00000	0.000	2.000
7	-50.000	17.700	7.700	300.000	0	0.000	0.00000	0.000	0.000

- ・4-13(表-4.4 照査用震度算出時における土質条件)の基準初期せん断剛性G_{ma}からせん断波速度V_sを推測した。なお、粘性土は粘着力より推測。
- ・粘性土の材料特性は4-13の記述より『港湾基準:塑性指数IP=30以上』を採用。

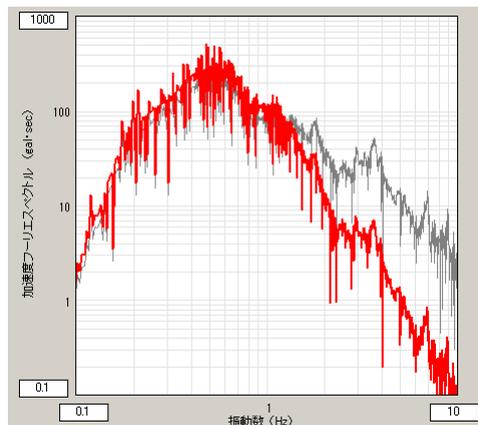
工学基盤-入射波形 Max:160(gal)



地表面-応答波形 Max:94(gal) フィルター処理後のMax:75(gal)



加速度フーリエスペクトル



フィルター条件

- ・ 背後地盤の固有周期 : 0.629(s)
- ・ 海底面下地盤の固有周期 : 0.274(s)
- ※固有周期は事例集4-16、4-17の値を採用
- ・ 壁高 : 15.6(m)
- ・ 許容される変形量 : 15(cm)

$$b = 2.250 \times \frac{15.600}{15.000} - 0.880 \times \frac{0.629}{0.800} + 0.960 \times \frac{0.274}{0.400} - 0.960 = 1.346$$

H = 15.600mとした場合 $1.092 \leq b \leq 1.632$ より、

b = 1.346 となる。

地震動の継続時間補正

補正に用いる低減係数

$$p = 0.35 \times \ln(S/a_f) - 0.20$$

$$= 0.35 \times \ln(2631.390/75.017) - 0.20 = 1.045$$

$p \leq 1.0$ より、

$p = 1.000$ となり、最大加速度補正值は

$$a_c = 1.000 \times 75.017 = 75.017 \quad (\text{gal})$$

ここに、

p : 低減率 ($p \leq 1.0$)

S : フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗和平方根

a_f : フィルター処理後の加速度最大値

a_c : 補正した地表面最大加速度

※計算に使用した値

1.0000000

2631.38957476

75.01741629

75.01741629

照査用震度の特性値

$$k_h = 1.91 \times \left(\frac{D_a}{D_r} \right)^{-0.69} \times \frac{a_c}{g} + 0.03$$

$$= 1.91 \times \left(\frac{15.000}{10} \right)^{-0.69} \times \frac{75.017}{980} + 0.03 = 0.141$$

ここに、

k_h : 照査用震度の特性値

a_c : 地表面における地盤の最大加速度補正值 (cm/s^2)

g : 重力加速度 ($=980\text{cm/s}^2$)

D_a : 許容される変形量 (cm)

D_r : 基準変形量 ($=10\text{cm}$)

最大ひずみについて

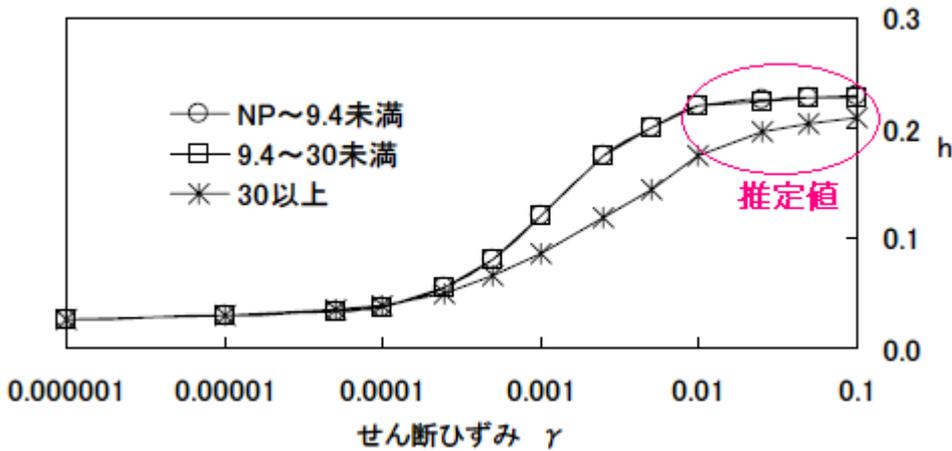
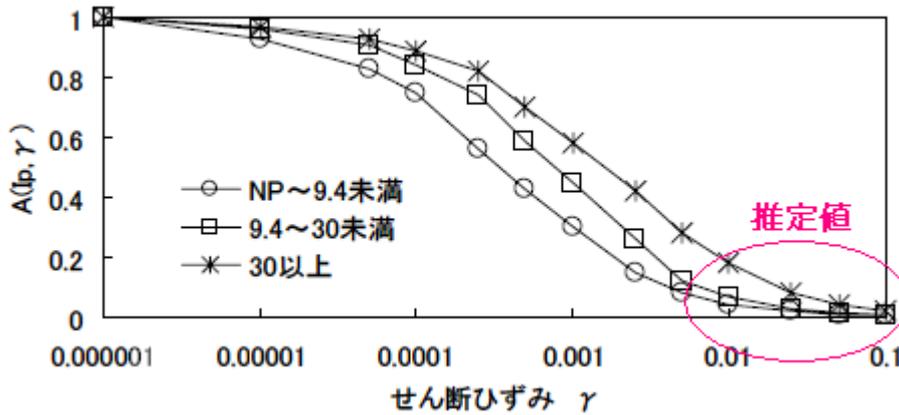
下図の $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線、 $h \sim \gamma$ 曲線の楕円で囲まれた領域は実験結果に基づくものではなく推定値です。

応答解析の結果、発生せん断ひずみ γ がこの領域に入る場合には、結果は概略値を示すものであり、注意が必要となります。**推定値領域=0.5~1.0%以上**

※埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)平成9年 P.67(財)沿岸開発技術研究センター

※等価線形解析の適用可能なひずみレベルは0.5~1%以下であり、1%を超える場合は非線形解析で行います。

・本システムで使用する港湾基準の材料特性



収束誤差について

SHAKE ではせん断剛性と減衰定数を仮定して計算を行い、得られた結果に基づき新しいせん断剛性と減衰定数を求め、両者の差が誤差範囲(5%に設定)以内に納まるまで繰返し計算を行います。

しかし、繰返し計算の既定回数を超えても収束しない場合もあります。その場合は規定回数で強制的に収束したものととして解析を続行します。5%を超える収束誤差が発生する結果については十分な注意が必要です。

液状化する地盤の解析について

SHAKE は液状化を考慮した解析には適用性がありませんが、設計震度を求める手法は液状化させない条件で構築しているため、事前に液状化判定を行う必要があります。

液状化する地盤であれば液状化対策を行い、対策後の地盤モデルを作成して応答解析を行います。

※港湾構造物設計事例集 第2編 4-16 (4)照査用震度の算出

入力地震動について

入力地震動が大きくなると地盤のひずみレベルも大きくなりますが、レベル 1 地震動を対象とした場合は概ね 0.5%以下のひずみレベルとなります。

SHAKE と DYNEQ について

SHAKE の欠点は等価線形化の係数 $\alpha = 0.65$ とした事で、高周波成分を過小評価し、反対に低周波成分を過大評価している点にあります。それらの欠点を克服したのが DYNEQ です。

照査用設計震度を求める際のフィルターを見ると高周波成分をカットし低周波成分を増幅していることから SHAKE モードの方が安全側と考えられます。

本システムが対象とする解析モデル(SHAKE 解析モード)

- ・地方港湾(レベル 1 地震動)の応答解析
- ・液状化しない地盤、または液状化対策をした地盤モデル
- ・発生せん断ひずみ γ が 0.5~1%以下の地盤モデル