

道路・鉄道・港湾における杭基礎耐震設計法の比較

1. 耐震設計の流れ

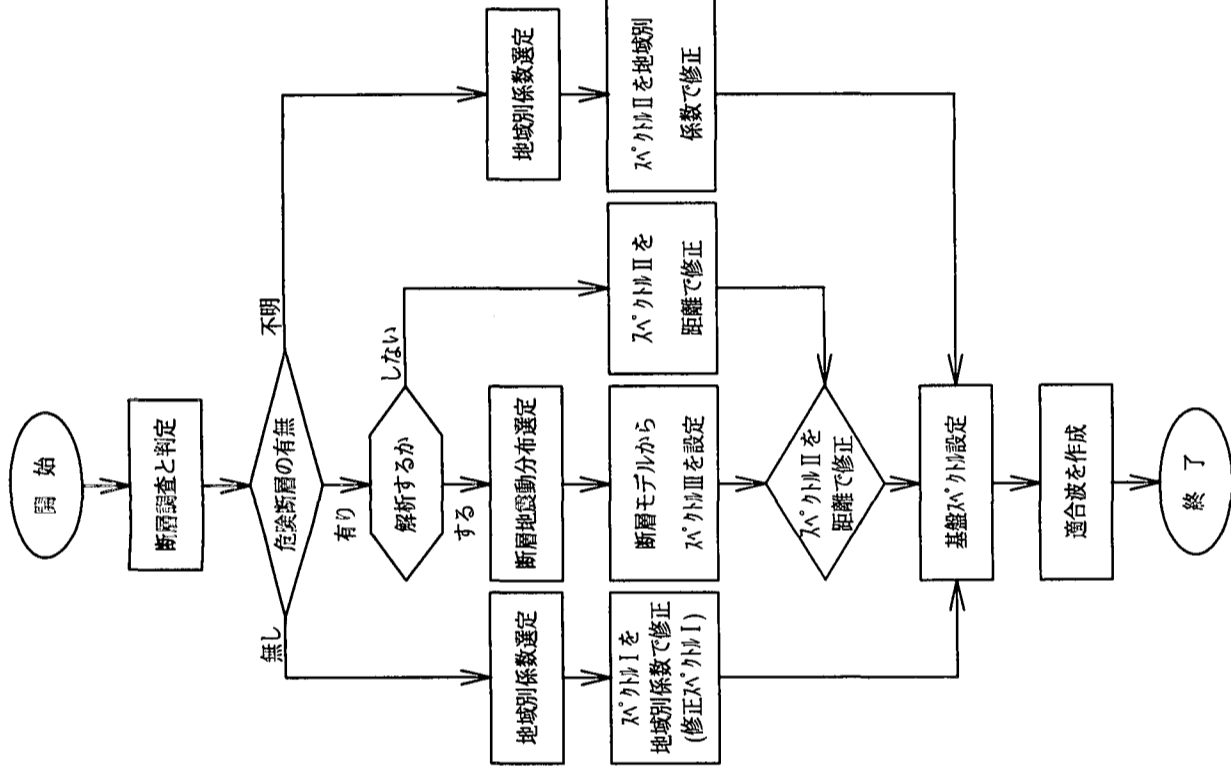
比較	道路	鉄道	港湾
設計基準	<p>IV下部構造編 V耐震設計編 平成8年12月</p>	<p>鉄道構造物等設計標準・同解説・耐震設計(案) 平成10年12月</p>	<p>港湾施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月</p>
耐震設計の流れ		<p>動的解析による耐震設計のイメージ (橋梁, 高架橋)</p>	<p>レベル1地震動に対する港湾の施設の設計手順</p> <p>レベル2地震動に対する耐震強化岸壁の設計手順</p>

2. 外力

比較	道	路	鉄	道	港	湾																																																																											
設計想定地震動	<p>L1 地震動：橋の供用期間中に発生する確率が大きい地震動 L2 地震動：橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を保つ地震動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・タイプI地震動：プレート境界型の大規模な地震 ・タイプII地震動：兵庫県南部地震のような内陸直下型地震 	<p>L1 地震動：構造物の設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動 L2 地震動：構造物の設計耐用期間内に発生する確率は低いが非常に強い地震動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海洋型地震（スペクトルI） ・内陸型地震（スペクトルII） ・断層モデル（スペクトルIII） 	<p>L1 地震動：再現期間 75 年の期待地震動 L2 地震動：再現期間数百年の期待地震動（耐震強化岸壁対象）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プレート境界地震動 ・プレート内地震動 	<p>地域防災計画における地震動</p>	<p>地域防災計画における地震動</p>	<p>地域防災計画における地震動</p>																																																																											
地盤種別	<table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I 種</td> <td>$T_g < 0.2$</td> </tr> <tr> <td>II 種</td> <td>$0.2 \leq T_g < 0.6$</td> </tr> <tr> <td>III 種</td> <td>$0.6 \leq T_g$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tg：地盤の固有周期</p>	地盤種別	条件	I 種	$T_g < 0.2$	II 種	$0.2 \leq T_g < 0.6$	III 種	$0.6 \leq T_g$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤区分</th> <th>条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G₀</td> <td>岩盤</td> </tr> <tr> <td>G₁</td> <td>基盤</td> </tr> <tr> <td>G₂</td> <td>$T_g < 0.25$</td> </tr> <tr> <td>G₃</td> <td>$0.25 \leq T_g < 0.5$</td> </tr> <tr> <td>G₄</td> <td>$0.5 \leq T_g < 0.75$</td> </tr> <tr> <td>G₅</td> <td>$0.75 \leq T_g < 1.0$</td> </tr> <tr> <td>G₆</td> <td>$1.0 \leq T_g < 1.5$</td> </tr> <tr> <td>G₇</td> <td>$1.5 \leq T_g$</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tg：地盤の固有周期</p>	地盤区分	条件	G ₀	岩盤	G ₁	基盤	G ₂	$T_g < 0.25$	G ₃	$0.25 \leq T_g < 0.5$	G ₄	$0.5 \leq T_g < 0.75$	G ₅	$0.75 \leq T_g < 1.0$	G ₆	$1.0 \leq T_g < 1.5$	G ₇	$1.5 \leq T_g$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤種別</th> <th>一種</th> <th>二種</th> <th>三種</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>地盤種別係数</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤の厚さ</th> <th>砂れき層</th> <th>一般の砂質土地盤及び粘性土地盤</th> <th>軟弱地盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第四紀層の厚さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5メートル以下</td> <td>第一種</td> <td>第一種</td> <td>第二種</td> </tr> <tr> <td>5メートルを越え</td> <td>第一種</td> <td>第二種</td> <td>第三種</td> </tr> <tr> <td>25メートル未満</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25メートル以上</td> <td>第二種</td> <td>第三種</td> <td>第三種</td> </tr> </tbody> </table>	地盤種別	一種	二種	三種	地盤種別係数	0.8	1.0	1.2	地盤の厚さ	砂れき層	一般の砂質土地盤及び粘性土地盤	軟弱地盤	第四紀層の厚さ				5メートル以下	第一種	第一種	第二種	5メートルを越え	第一種	第二種	第三種	25メートル未満				25メートル以上	第二種	第三種	第三種	<table border="1"> <thead> <tr> <th>地盤区分</th> <th>地域別震度</th> <th>再現期間 75 年 基礎加速度期待値 (Gal)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0.15</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.13</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.12</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0.11</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0.08</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	地盤区分	地域別震度	再現期間 75 年 基礎加速度期待値 (Gal)	A	0.15	350	B	0.13	250	C	0.12	200	D	0.11	150	E	0.08	100	<p>L1 地震動</p> <p>このグラフは、A地区におけるL1地震動の加速度期待値を示しています。縦軸は加速度期待値 (Gal) で 50 から 500 まで表示されています。横軸は周期 (秒) で 0.1 から 5.0 まで表示されています。実線は「震度法」による結果、破線は「動的解析法」による結果を示しています。グラフには G0 から G7 の地盤区分に対応する複数の曲線が描かれています。また、Tg < 1.0, 0.1 ≤ Tg < 0.5, 0.5 ≤ Tg の範囲が示されています。</p>
地盤種別	条件																																																																																
I 種	$T_g < 0.2$																																																																																
II 種	$0.2 \leq T_g < 0.6$																																																																																
III 種	$0.6 \leq T_g$																																																																																
地盤区分	条件																																																																																
G ₀	岩盤																																																																																
G ₁	基盤																																																																																
G ₂	$T_g < 0.25$																																																																																
G ₃	$0.25 \leq T_g < 0.5$																																																																																
G ₄	$0.5 \leq T_g < 0.75$																																																																																
G ₅	$0.75 \leq T_g < 1.0$																																																																																
G ₆	$1.0 \leq T_g < 1.5$																																																																																
G ₇	$1.5 \leq T_g$																																																																																
地盤種別	一種	二種	三種																																																																														
地盤種別係数	0.8	1.0	1.2																																																																														
地盤の厚さ	砂れき層	一般の砂質土地盤及び粘性土地盤	軟弱地盤																																																																														
第四紀層の厚さ																																																																																	
5メートル以下	第一種	第一種	第二種																																																																														
5メートルを越え	第一種	第二種	第三種																																																																														
25メートル未満																																																																																	
25メートル以上	第二種	第三種	第三種																																																																														
地盤区分	地域別震度	再現期間 75 年 基礎加速度期待値 (Gal)																																																																															
A	0.15	350																																																																															
B	0.13	250																																																																															
C	0.12	200																																																																															
D	0.11	150																																																																															
E	0.08	100																																																																															

選 定 の 考 え 方

- 躯体
 - ・タイプIおよびタイプIIの地震動の両方にて検討
- 基礎
 - ・タイプIIのみにて検討
(躯体の地震保有水平耐力に対する検討)

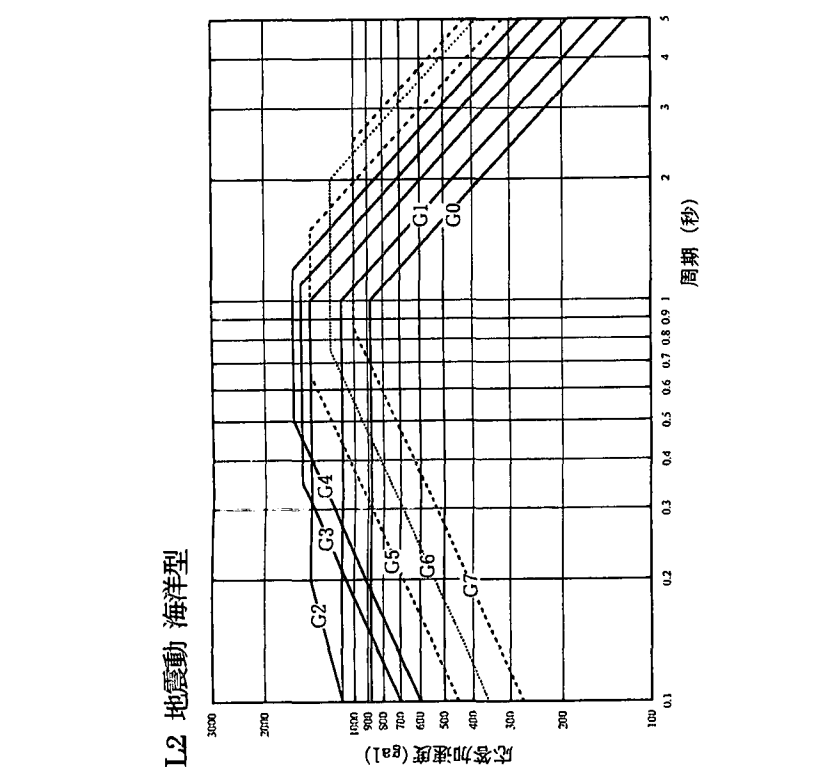
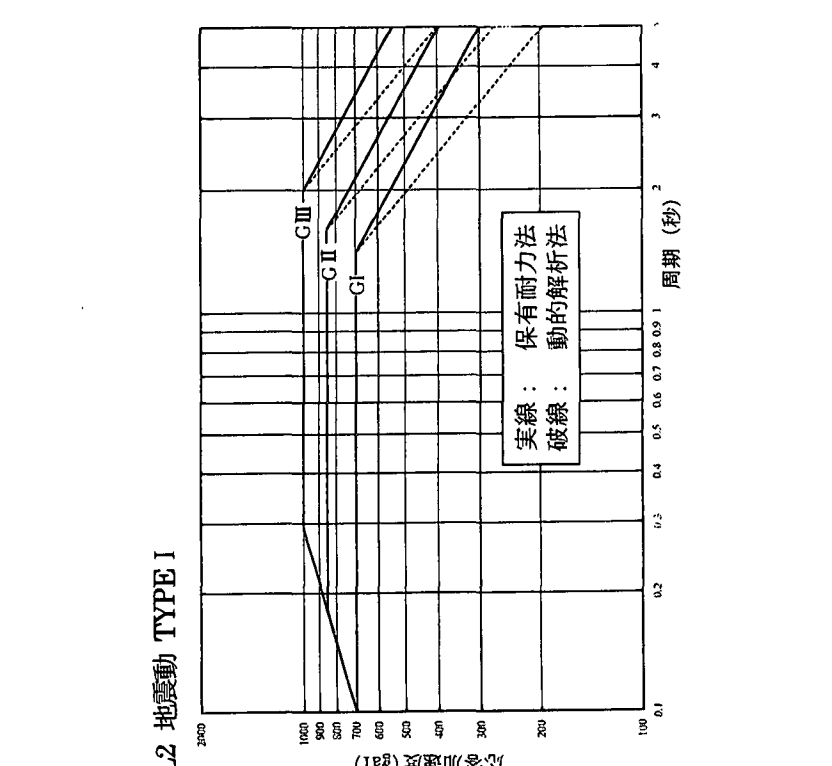
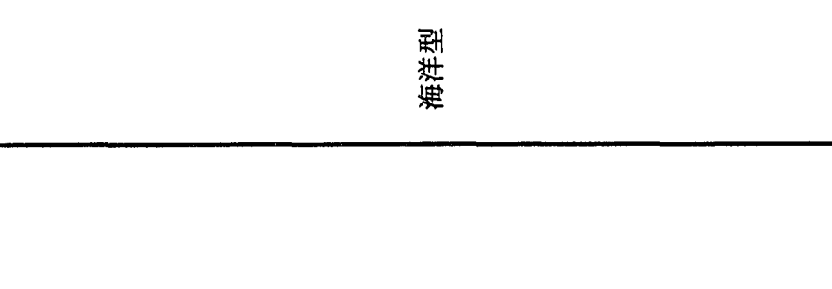

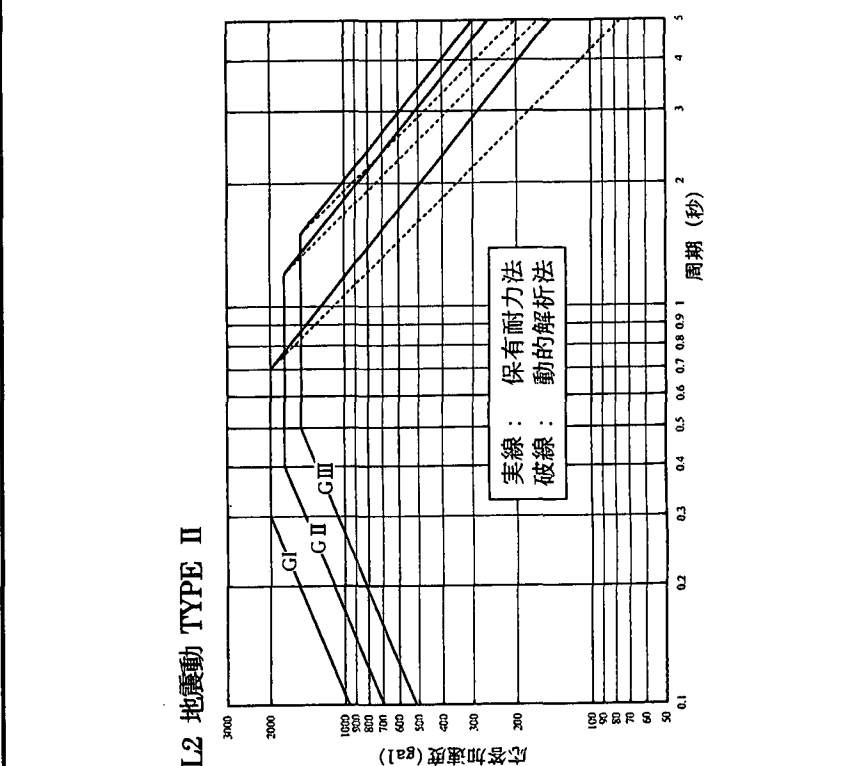
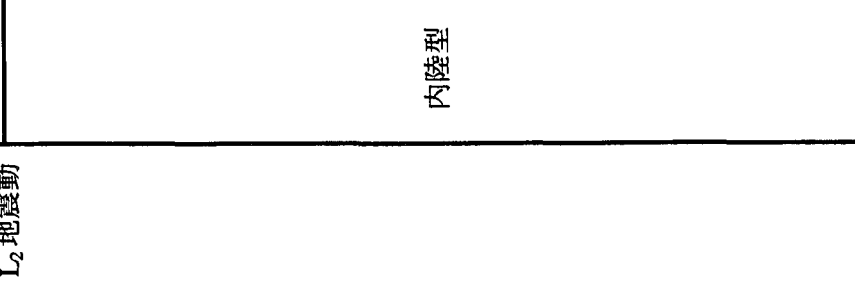



設計地震動の一般的な設定手順

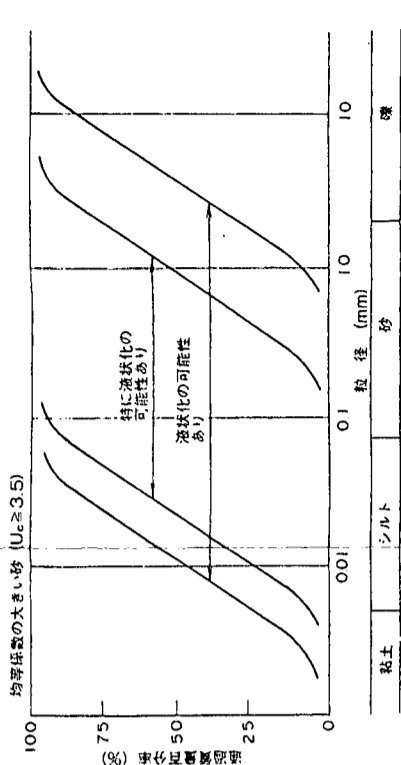
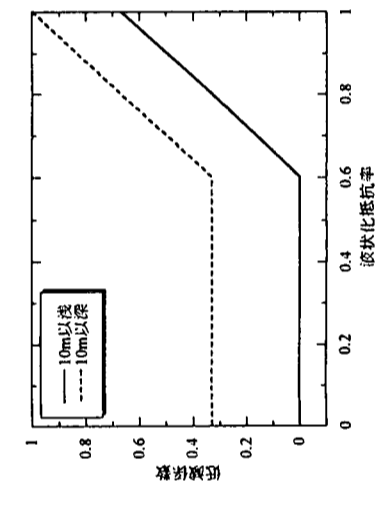
- 1) スペクトルI：海洋型地震を対象とした弾性加速度応答スペクトル
- 2) スペクトルII：内陸型地震を対象として既往の地震観測記録に基づいて統計解析等により設定した弾性加速度応答スペクトル
- 3) スペクトルIII：断面モデルにより算定した弾性加速度応答スペクトル

L₂地震動の適用

- ・耐震強化施設（耐震強化岸壁、防災拠点等のうち耐震強化の必要な護岸）
- ・その他、橋梁・沈埋トンネル等の港湾の施設でL₂地震動の考慮すべき施設

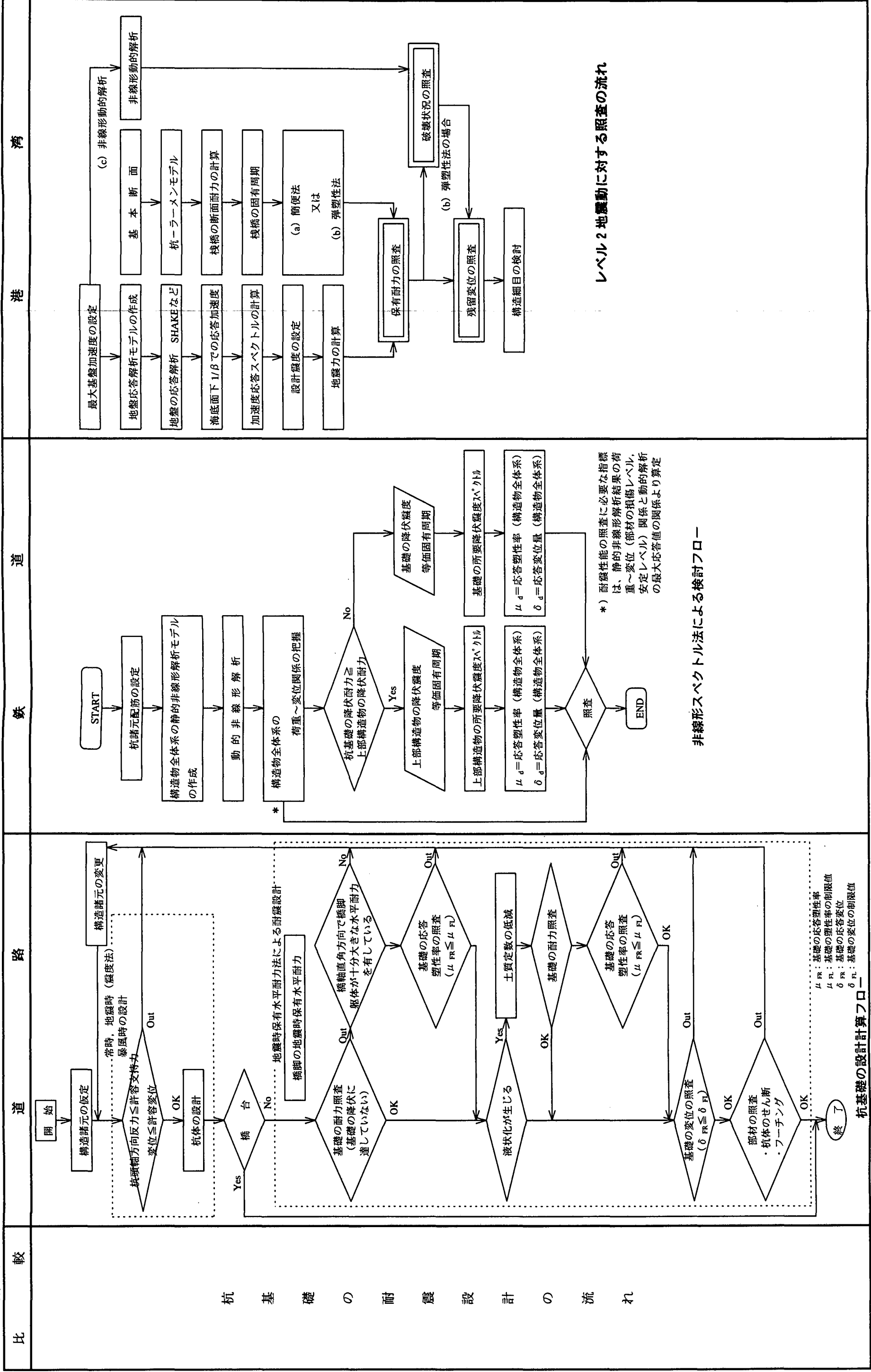
比較	道	路	鐵道	港	湾
	<p>L2 地震動 TYPE I</p>  <p>実線：保有耐力法 破線：動的解析法</p>	<p>L2 地震動 TYPE I</p>  <p>実線：保有耐力法 破線：動的解析法</p>	<p>L2 地震動 海洋型</p> 	<p>①1968年十勝沖地震八戸基盤波形</p>  <p>②1978年宮城県沖地震大船渡基盤波形</p>	
L ₂ 地震動		<p>L2 地震動 TYPE II</p>  <p>実線：保有耐力法 破線：動的解析法</p>	<p>L2 地震動 内陸型</p> 	<p>兵庫県南部地震ポートアイランド基盤波形</p> 	

比較	道路	鉄道	港湾																											
重要度区分	<table border="1"> <tr> <th>重要度の区分</th> <th>対象となる橋</th> </tr> <tr> <td>A種の橋</td> <td>下記以外の橋 ・高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道の橋</td> </tr> <tr> <td>B種の橋</td> <td>・都道府県道、市町村道のうち、複断面、跨線橋、跨道橋および地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋、高圧の道路等</td> </tr> </table>	重要度の区分	対象となる橋	A種の橋	下記以外の橋 ・高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道の橋	B種の橋	・都道府県道、市町村道のうち、複断面、跨線橋、跨道橋および地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋、高圧の道路等	<table border="1"> <tr> <th>重要度区分</th> <th>対象構造物</th> </tr> <tr> <td>重要度の高い構造物</td> <td>・新幹線鉄道および大都市旅客鉄道の構造物 ・開削川初等教育が生じた場合の復旧が困難な構造物</td> </tr> <tr> <td>その他の構造物</td> <td>上記以外の構造物</td> </tr> </table>	重要度区分	対象構造物	重要度の高い構造物	・新幹線鉄道および大都市旅客鉄道の構造物 ・開削川初等教育が生じた場合の復旧が困難な構造物	その他の構造物	上記以外の構造物	<table border="1"> <tr> <th>構造物の種類</th> <th>構造物の仕様</th> <th>重要係数</th> </tr> <tr> <td>特定</td> <td>A級構造物の性格のうち①～④の程度が著しいもの</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>A級</td> <td>①構造物が被害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与えるおそれのあるもの ②震災復興に重要な役割を果たすもの ③有害物又は危険物を取り扱う構造物で、被害を受けた場合に人命又は財産に重大な損失を与えるおそれのあるもの ④構造物が被害を受けた場合、経済・社会活動に重大な影響を及ぼすもの ⑤構造物が被害を受けた場合、復旧にかなりの困難が予想されるもの</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>B級</td> <td>特定、A級及びC級以外のもの</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>C級</td> <td>特定及びA級以外の構造物で、被害を受けた場合にも、経済・社会活動への影響が軽微なもの、又は容易に復旧が可能なが予想されるもの</td> <td>0.8</td> </tr> </table>	構造物の種類	構造物の仕様	重要係数	特定	A級構造物の性格のうち①～④の程度が著しいもの	1.5	A級	①構造物が被害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与えるおそれのあるもの ②震災復興に重要な役割を果たすもの ③有害物又は危険物を取り扱う構造物で、被害を受けた場合に人命又は財産に重大な損失を与えるおそれのあるもの ④構造物が被害を受けた場合、経済・社会活動に重大な影響を及ぼすもの ⑤構造物が被害を受けた場合、復旧にかなりの困難が予想されるもの	1.2	B級	特定、A級及びC級以外のもの	1.0	C級	特定及びA級以外の構造物で、被害を受けた場合にも、経済・社会活動への影響が軽微なもの、又は容易に復旧が可能なが予想されるもの	0.8
重要度の区分	対象となる橋																													
A種の橋	下記以外の橋 ・高速自動車国道、都市高速道路、指定都市高速道路、本州四国連絡道路、一般国道の橋																													
B種の橋	・都道府県道、市町村道のうち、複断面、跨線橋、跨道橋および地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から特に重要な橋、高圧の道路等																													
重要度区分	対象構造物																													
重要度の高い構造物	・新幹線鉄道および大都市旅客鉄道の構造物 ・開削川初等教育が生じた場合の復旧が困難な構造物																													
その他の構造物	上記以外の構造物																													
構造物の種類	構造物の仕様	重要係数																												
特定	A級構造物の性格のうち①～④の程度が著しいもの	1.5																												
A級	①構造物が被害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与えるおそれのあるもの ②震災復興に重要な役割を果たすもの ③有害物又は危険物を取り扱う構造物で、被害を受けた場合に人命又は財産に重大な損失を与えるおそれのあるもの ④構造物が被害を受けた場合、経済・社会活動に重大な影響を及ぼすもの ⑤構造物が被害を受けた場合、復旧にかなりの困難が予想されるもの	1.2																												
B級	特定、A級及びC級以外のもの	1.0																												
C級	特定及びA級以外の構造物で、被害を受けた場合にも、経済・社会活動への影響が軽微なもの、又は容易に復旧が可能なが予想されるもの	0.8																												
地域別補正係数	<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> A 1.0 B 0.8 C 0.75 	<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> A 1.0 B 0.8 C 0.75 	<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> A 1.5 B 1.2 C 1.0 D 0.8 E 0.75 																											
距離減衰	$S_2(T) = S_1(T) \frac{X_{eq(1)}}{X_{eq(2)}} \cdot 10^{-0.0015(X_{eq(1)} - X_{eq(2)})}$ <p>(SベクトルIIのみに適用)</p> <p>$X_{eq(1)}$: 地表における対象震源断層に対して最小等価震源距離</p> <p>$X_{eq(2)}$: 同じ震源断層に対する構造物地点の等価震源距離</p> $X_{eq}^{-2} = \sum_{i=1}^N d_i^2 X_i^{-2} / \sum_{i=1}^N d_i^2$ <p>N : 断層面の分割数</p> <p>d_i : 小断層面の食違い量または地震モーメント</p> <p>X_i : 小断層面からの距離</p> <p>$S_1(t)$: 断層直上の弾性加速度応答スペクトルII</p>	<p>ここに、</p> <p>A_{SMAC} : SMAC 型強震計の最大基盤加速度 (Gal)</p> <p>M : マグニチュード</p> <p>X : 断層面距離 (km)</p>	<p>*) 地域別震度</p> <p>耐震強化施設の設計震度を求める場合の地盤の地震応答計算で用いる基盤加速度は次式により補正する</p> $\log_{10} A_{SMAC} = 0.53M - \log_{10}(X + 0.0062 \cdot 10^{0.53M}) - 0.00169X + 0.524$																											

比		道	路	道	鉄	道	港	湾																					
液状化の 評価	対象土層	<p>(1) 地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ現地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層。</p> <p>(2) 細粒分含有率 FC が 35% 以下の土層、または FC が 35% をこえても塑性指数 I_p が 15 以下の土層。</p> <p>(3) 平均粒径 D_{50} が 10 mm 以下で、かつ 10% 粒径 D_{10} が 1 mm 以下である土層。</p>	<p>(1) 地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ現地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層。</p> <p>(2) 細粒分含有率 FC が 35% 以下の土層、または FC が 35% をこえても塑性指数 I_p が 15 以下の土層。</p> <p>(3) 平均粒径 D_{50} が 10 mm 以下で、かつ 10% 粒径 D_{10} が 1 mm 以下である土層。</p>	<p>(1) 地下水位が現地盤面から 10m 以内にある土層</p> <p>(2) 現地盤面から 20m 以内の範囲にある土層</p> <p>(3) 平均粒径 D_{50} が 10.0 mm 以下で、かつ 10% 粒径 D_{10} が 1 mm 以下の土層</p> <p>(4) 粒径分含有率 FC が 35% 以下の地盤、または FC が 35% を越えても粘土分含有率 P_c が 15% 以下の土層</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>粒度と N 値による液状化の判定</th> <th>粒度と N 値による液状化の予測</th> <th>粒度と N 値による液状化の判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>液状化する。</td> <td>液状化とすると判定する。</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>液状化する可能性が大きい。</td> <td>液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する。</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>液状化しない可能性が大きい。</td> <td>液状化しないと判定するか、繰返し三軸試験により判定する。 構造物に特に安全を見込む場合には液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する。</td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td>液状化しない。</td> <td>液状化しないと判定する。</td> </tr> </tbody> </table>	粒度と N 値による液状化の判定	粒度と N 値による液状化の予測	粒度と N 値による液状化の判定	I	液状化する。	液状化とすると判定する。	II	液状化する可能性が大きい。	液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する。	III	液状化しない可能性が大きい。	液状化しないと判定するか、繰返し三軸試験により判定する。 構造物に特に安全を見込む場合には液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する。	IV	液状化しない。	液状化しないと判定する。								
	粒度と N 値による液状化の判定	粒度と N 値による液状化の予測	粒度と N 値による液状化の判定																										
I	液状化する。	液状化とすると判定する。																											
II	液状化する可能性が大きい。	液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する。																											
III	液状化しない可能性が大きい。	液状化しないと判定するか、繰返し三軸試験により判定する。 構造物に特に安全を見込む場合には液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する。																											
IV	液状化しない。	液状化しないと判定する。																											
判定法	<p>○ 液状化抵抗率 (FL 値) による判定</p> <ul style="list-style-type: none"> 地震動特性による補正係数で動的せん断強度比を補正 * 地震動タイプにより補正係数が異なる。 	<p>○ 液状化抵抗率 (FL 値) による判定</p> <ul style="list-style-type: none"> 累積損傷度理論により動的せん断強度比を補正 <p>または、</p> <p>○ 地震応答解析による判定</p> <ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧が 0.95 以上で完全液状化状態と判定 	<p>○ 液状化しない条件と液状化した条件で検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化した条件は、土質諸定数の低減による固有周期の変化 (長周期化) を考慮し、液状化地盤の非線形応答スペクトルを適用する。 																										
土質諸定数の低減程度	<table border="1"> <thead> <tr> <th>FL の範囲</th> <th>現地盤面からの深さ x (m)</th> <th>R ≤ 0.3</th> <th>0.3 < R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">FL ≤ 1β</td> <td>0 ≤ x ≤ 10</td> <td>0</td> <td>1/6</td> </tr> <tr> <td>10 < x ≤ 20</td> <td>1β</td> <td>1β</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1β < FL ≤ 2β</td> <td>0 ≤ x ≤ 10</td> <td>1β</td> <td>2β</td> </tr> <tr> <td>10 < x ≤ 20</td> <td>2β</td> <td>2β</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2β < FL < 1</td> <td>0 ≤ x ≤ 10</td> <td>2β</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>10 < x ≤ 20</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	FL の範囲	現地盤面からの深さ x (m)	R ≤ 0.3	0.3 < R	FL ≤ 1β	0 ≤ x ≤ 10	0	1/6	10 < x ≤ 20	1β	1β	1β < FL ≤ 2β	0 ≤ x ≤ 10	1β	2β	10 < x ≤ 20	2β	2β	2β < FL < 1	0 ≤ x ≤ 10	2β	1	10 < x ≤ 20	1	1	<p>○ 液状化しない条件と液状化した条件で検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化した条件でも、土質諸定数の低減を考慮しない固有周期で、通常地盤の加速度応答スペクトルより慣性力を算定する。 		
FL の範囲	現地盤面からの深さ x (m)	R ≤ 0.3	0.3 < R																										
FL ≤ 1β	0 ≤ x ≤ 10	0	1/6																										
	10 < x ≤ 20	1β	1β																										
1β < FL ≤ 2β	0 ≤ x ≤ 10	1β	2β																										
	10 < x ≤ 20	2β	2β																										
2β < FL < 1	0 ≤ x ≤ 10	2β	1																										
	10 < x ≤ 20	1	1																										
影響の考慮																													

比		道	路	道	鉄	道	港	湾
側方流動 の影響	荷重	<p>① 水際線からの距離$\leq 100m$かつ、</p> <p>② 液状化層厚$\geq 5m$の地盤</p>		<p>① 水際線背後地盤または、</p> <p>② 地表面が傾斜している地盤ただし、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・護岸が安定 ・液状化指数≤ 15 ・側方流動による地表面変化量/液状化層の厚さ$\leq 1/100$の条件を満足する場合は考慮しない。 		<p>○ 護岸移動量または地表面傾斜率により、側方流動による地盤変位量を算定し、それを地盤ばねを介して荷重として作用する。(慣性力は同時に作用させない。)</p>	<p>○ 地盤変位量を地盤ばねを介して荷重として作用する。(慣性力と地盤変位の動的相互作用を考慮する。)</p>	
		<p>対象地盤</p>						
地盤変位の影響 (応答変位法)								

3. 解析法



比	較	道	路	鉄	道	港	湾										
杭軸方向の設計 鉛直地盤反力係数	$K_{VE} = \alpha \frac{A_p E_p}{L}$ A_p : 杭の純断面積 (cm ²) E_p : 杭体のヤング係数 (kgf/cm ²) L : 杭長 (cm) α : 0.014 (LD) + 0.78 (鋼管杭)	$k'_v = f_{rk} (\alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k'_v = f_{rk} (\alpha E_0 D)^{3/4}$ (先端閉塞打込み鋼管杭の場合) (杭先端) α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k_{sv} = f_{rk} (0.05 \alpha E_0 D)^{3/4}$ $k_{sh} = f_{rk} (0.1 \alpha E_0 D)^{3/4}$	$k_{sv} = f_{rk} (0.05 \alpha E_0 D)^{3/4}$ $k_{sh} = f_{rk} (0.1 \alpha E_0 D)^{3/4}$	$K = \alpha \frac{EA}{L}$ $\alpha = 0.014 \frac{L}{D} + 0.78$ (打込み鋼管杭)	<p>①特に設定されていないが、極限支持力 Q_{max} を最大変位 z_{max}0.1 cm で除してばね定数とする方法が用いられている。</p> <p>あるいは、</p> <p>②道示に準じる</p>										
杭周囲の設計せん断地盤反力係数				$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k = f_{max} / z_{max}$	<p>特に設定されていないが、最大周辺摩擦力 f_{max} を最大変位 z_{max}1.0 cm で除してばね定数とする方法が用いられている。</p> <p>現在、杭周囲のばね (鉛直) は考慮しない。 (栈橋は杭先端のみで支持されているとしている。)</p>										
設計水平地盤反力係数	$k_{HE} = \eta_k \alpha_k k_H$ $k_H = k_{HO} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4}$ $k_{HO} = \frac{1}{30} \alpha E_0$ B_H : B _H = √(D/β) (杭基礎) α : 地盤反力係数の推定に用いる係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =28N) A_H : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷面積 (cm ²) D : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷幅 (cm) β : 基礎の特性値 $\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$	$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	$k_{heg} = e_g \cdot k_h$ $k_h = f_{rk} (0.2 \alpha E_0 D)^{3/4}$ α : E ₀ の算定方法に対する補正係数 (α=2) E_0 : 地盤の変形係数 (kgf/cm ²) (E ₀ =25N) D : 杭先端の直径 (cm) f_{rk} : 地盤抵抗係数	<p>① kh = 1.5 · N N : N 値 (1/β までの平均値) Es = kh · B (B は杭幅) 地震時では上記の値を 2 倍する または、</p> <p>②道示に準じる。</p>										
単杭	$\alpha_k = \begin{cases} 1.5 & \text{(砂質土)} \\ 1.5 & \text{(粘性土)} \end{cases}$																
群杭	$\eta_k = 2/3$	$e_g = [1.5 \{1 - (0.6 - 0.25 k) d^{(0.3 + 0.2k)}\} \times \{1 - m^{-0.22} n^{-0.09}\}]^{4/3}$ e_g : 群杭に対する補正係数 k : 杭頭固定度 (一般に k = 0.6) d : 杭間隔係数 $d = L/D$ L : 杭中心間隔 (m) D : 杭径 (m) m : 水平荷重の作用方向の杭本数 n : 水平荷重の作用直角方向の杭本数	$e_g = [1.5 \{1 - (0.6 - 0.25 k) d^{(0.3 + 0.2k)}\} \times \{1 - m^{-0.22} n^{-0.09}\}]^{4/3}$ e_g : 群杭に対する補正係数 k : 杭頭固定度 (一般に k = 0.6) d : 杭間隔係数 $d = L/D$ L : 杭中心間隔 (m) D : 杭径 (m) m : 水平荷重の作用方向の杭本数 n : 水平荷重の作用直角方向の杭本数	$e_g = [1.5 \{1 - (0.6 - 0.25 k) d^{(0.3 + 0.2k)}\} \times \{1 - m^{-0.22} n^{-0.09}\}]^{4/3}$ e_g : 群杭に対する補正係数 k : 杭頭固定度 (一般に k = 0.6) d : 杭間隔係数 $d = L/D$ L : 杭中心間隔 (m) D : 杭径 (m) m : 水平荷重の作用方向の杭本数 n : 水平荷重の作用直角方向の杭本数	$e_g = [1.5 \{1 - (0.6 - 0.25 k) d^{(0.3 + 0.2k)}\} \times \{1 - m^{-0.22} n^{-0.09}\}]^{4/3}$ e_g : 群杭に対する補正係数 k : 杭頭固定度 (一般に k = 0.6) d : 杭間隔係数 $d = L/D$ L : 杭中心間隔 (m) D : 杭径 (m) m : 水平荷重の作用方向の杭本数 n : 水平荷重の作用直角方向の杭本数	<p>港湾構造物では杭間隔が広いことから、一般に群杭を考慮して いない杭の中心間隔は、杭径の値を乗じた以上では考慮 しない。</p> <table border="1"> <tr> <td>砂質土</td> <td>杭横方向</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">粘土</td> <td>杭縦方向</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>杭横方向</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>杭縦方向</td> <td>4.0</td> </tr> </table> <p>地盤反力係数の群杭の修正方法は明記されていないので必要な場合は道示に従う。</p>	砂質土	杭横方向	1.5	粘土	杭縦方向	2.5	杭横方向	3.0		杭縦方向	4.0
砂質土	杭横方向	1.5															
粘土	杭縦方向	2.5															
	杭横方向	3.0															
	杭縦方向	4.0															

設計地盤反力係数 (初期勾配)

比	較	道	路	鉄	道	港	湾																
鉛直方向	押し込み	$P_{PU} = \min(R_u, R_{pu})$ R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (tf) R_{pu} : 杭体から決まる押し込み支持力の上限値 (tf) $R_u = q_d A + U \sum L_i f$ $R_{pu} = 0.85 \sigma_{ak} A_c + \sigma_y A_s$		$R_{vd} = f_p R_p + f_{rf} R_{rf}$ R_p : 単杭の基準先端支持力 (tf) $R_{rf} = q_d A$ R_f : 単杭の最大周面支持力 (tf) $R_f = U \sum r_i L_i$ f_{rf} : 杭の周面支持力に対する地盤抵抗係数 f_{fp} : 杭の先端支持力に対する地盤抵抗係数	$R_{vd} = f_p R_p + W_p$ R_f : 単杭の最大周面支持力 (tf) $R_{rf} = U \sum r_i L_i$ W_p : 杭の有効自重 (tf) f_{fn} : 杭の引抜き抵抗に対する地盤抵抗係数	押し込み: (杭の先端支持力) + (杭周囲の摩擦力和杭本体の圧縮強度の小さい方) 引き抜き: 杭周囲の摩擦力和杭本体の引張強度の小さい方 摩擦力 (単位面積あたり) については、特に規定はないが下記の式を使う場合がある。 $f_{max} = 0.5 \cdot \tan \phi_i (\sum \gamma_i \cdot h_i + q) + C_i$ ϕ_i : i層での土の内部摩擦角 γ_i : i層での土の単位体積重量 h_i : i層の厚さ q : 上載圧 C_i : i層の粘着力																	
	引抜き	$P_{PU} = \min(P_u + W, P_{pu})$ P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き力 (tf) P_{pu} : 杭および杭内部の土の有効重量 (tf) P_u : 杭体から決まる引抜き支持力の上限値 (tf) $P_{pu} = \sigma_y A_s$	$P_{eg}(z) = \eta_n \eta_m P_e(z) \leq P_e(z)$ 砂質土: $P_e(z) = f_p \alpha \gamma_e z K_p$ $P_e(z)$: 深さ z における有効抵抗土圧強度 (tf/m ²) K_p : 受働土圧係数 $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$ α : 杭前面の形状係数 (一般に 3) γ_e : 深さ z までの平均有効単位体積重量 (tf/m ³) ϕ : 深さ z の土の内部摩擦角 (度) z : 有効抵抗土圧強度を求める深さ (m) f_p : 土圧強度の算出に用いる地盤抵抗係数 (一般に 1.0) 粘性土: $P_e(z) = f_{rc} (1 + z/2D) (\gamma_e z + 2c) \leq 9c$ D : 杭径 (m) C : 粘性土の粘着力度 (tf/m ²) f_{rc} : 土圧強度の算出に用いる地盤抵抗係数 (一般に 1.0)	$P_{pu} = \gamma x K_{EP} + 2c \sqrt{K_{EP}} + q' + K_{EP}$ P_{pu} : 深さ x における地震時受働土圧強度 (tf/m ²) K_{EP} : 地震時受働土圧係数 $K_{EP} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_0 + \theta)}{\cos \theta_0 \cos^2 \theta \cos(\theta - \theta_0 + \delta_E) \left[1 - \frac{\sin(\phi - \delta_E) \sin(\phi + \alpha - \theta_0)}{\cos(\theta - \theta_0 + \delta_E) \cos(\theta - \alpha)} \right]^2}$ γ : 土の単位体積重量 (tf/m ³) x : 土圧 P_{EP} が壁面に作用する深さ (m) c : 土の粘着力 (tf/m ²) q' : 地震時の地表載荷重 (tf/m ²) ϕ : 土のせん断抵抗角 (度) α : 地表面と水平面とのなす角 (度) θ : 壁背面と鉛直面とのなす角 (度) δ_E : 壁背面と土との間の壁面摩擦角 (度) θ_0 : $\tan^{-1} k_h$ (度) k_h : 震度法に用いる設計水平震度	$P_{eg}(z) = \eta_n \eta_m P_e(z) \leq P_e(z)$ 砂質土: $P_e(z) = f_p \alpha \gamma_e z K_p$ $P_e(z)$: 深さ z における有効抵抗土圧強度 (tf/m ²) K_p : 受働土圧係数 $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$ α : 杭前面の形状係数 (一般に 3) γ_e : 深さ z までの平均有効単位体積重量 (tf/m ³) ϕ : 深さ z の土の内部摩擦角 (度) z : 有効抵抗土圧強度を求める深さ (m) f_p : 土圧強度の算出に用いる地盤抵抗係数 (一般に 1.0) 粘性土: $P_e(z) = f_{rc} (1 + z/2D) (\gamma_e z + 2c) \leq 9c$ D : 杭径 (m) C : 粘性土の粘着力度 (tf/m ²) f_{rc} : 土圧強度の算出に用いる地盤抵抗係数 (一般に 1.0)	$P_u = \alpha \{ K_p (\sum \gamma_i \cdot h_i + q) + C \sqrt{K_p + q' \cdot K_p} \}$ $\alpha = \begin{cases} 1.5 & (\text{粘性土}) \\ 2.5 \sim 3.0 & (\text{砂質土}) \end{cases}$ γ_i : 各層の単位体積重量 h_i : 各層の厚さ q : 上載荷重 C : 粘着力 q' : 地震時上載荷重																	
水平方向	単杭	$\alpha_p = \begin{cases} 3.0 & (\text{砂質土}) \\ 1.5 & (\text{粘性土}) \end{cases}$																					
	群杭	$\eta_p \alpha_p = \text{荷重載荷角方向の杭の中心間隔杭径} (\leq \alpha_p)$ 砂質土: $\eta_p \alpha_p = \text{荷重載荷角方向の杭の中心間隔杭径} (\leq \alpha_p)$ 粘性土: $\eta_p = 1.0$	$\eta_n = (d/3)^{0.42} \eta^{0.09}$ d : 杭間隔係数 $d = L/D$ L : 杭中心間隔 (m) D : 杭径 (m) n : 水平荷重の作用直角方向の杭本数 粘性土: $\eta_n = 1.0$																				
	杭列	<table border="1"> <tr> <td>1列目 (押し込み杭)</td> <td>2列目 (中杭)</td> <td>3列目以降 (引抜き杭)</td> </tr> <tr> <td>砂質土 1.0</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>粘性土 1.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> </table>	1列目 (押し込み杭)	2列目 (中杭)	3列目以降 (引抜き杭)	砂質土 1.0	0.5	0.5	粘性土 1.0	1.0	1.0	<table border="1"> <tr> <td>1列目 (押し込み杭)</td> <td>2列目 (中杭)</td> <td>3列目以降 (引抜き杭)</td> </tr> <tr> <td>砂質土 1.0</td> <td>0.5</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>粘性土 1.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> </table>	1列目 (押し込み杭)	2列目 (中杭)	3列目以降 (引抜き杭)	砂質土 1.0	0.5	0.4	粘性土 1.0	1.0	1.0		
1列目 (押し込み杭)	2列目 (中杭)	3列目以降 (引抜き杭)																					
砂質土 1.0	0.5	0.5																					
粘性土 1.0	1.0	1.0																					
1列目 (押し込み杭)	2列目 (中杭)	3列目以降 (引抜き杭)																					
砂質土 1.0	0.5	0.4																					
粘性土 1.0	1.0	1.0																					

比較	道	路	鉄	道	港	湾																															
応答値の算定 (L_2 地震動対象)	① 地震時保有水平耐力法 または、 ② 時刻歴動的応答解析法	① 地震時保有水平耐力法 または、 ② 時刻歴動的応答解析法	① 非線形スペクトル法 または、 ② 時刻歴動的応答解析法 〔・上部-基礎-地盤-一体解析 ・基礎-地盤系支持ばね置換モデル解析〕	① 地震時保有水平耐力法 または、 ② 時刻歴動的応答解析法	① 地震時保有水平耐力法 または、 ② 時刻歴動的応答解析法	① 地震時保有水平耐力法 または、 ② 時刻歴動的応答解析法																															
降伏点の定義	<table border="1"> <tr> <td>押込み側</td> <td>1 列の杭の杭頭反力が、押込み支持力の上限値に達するとき</td> </tr> <tr> <td>引抜き側</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>杭部材</td> <td>全ての杭において、杭体が降伏するとき</td> </tr> </table>	押込み側	1 列の杭の杭頭反力が、押込み支持力の上限値に達するとき	引抜き側	—	杭部材	全ての杭において、杭体が降伏するとき	<table border="1"> <tr> <td>押込み側</td> <td>最外縁の杭頭反力が設計鉛直支持力の上限値に達するとき</td> </tr> <tr> <td>引抜き側</td> <td>全本数の半数の杭頭反力が、設計引抜き抵抗力の上限値に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)</td> </tr> <tr> <td>杭部材</td> <td>杭全体の半数の杭が降伏耐力に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)</td> </tr> </table>	押込み側	最外縁の杭頭反力が設計鉛直支持力の上限値に達するとき	引抜き側	全本数の半数の杭頭反力が、設計引抜き抵抗力の上限値に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)	杭部材	杭全体の半数の杭が降伏耐力に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)	<table border="1"> <tr> <td>押込み側</td> <td>最外縁の杭頭反力が設計鉛直支持力の上限値に達するとき</td> </tr> <tr> <td>引抜き側</td> <td>全本数の半数の杭頭反力が、設計引抜き抵抗力の上限値に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)</td> </tr> <tr> <td>杭部材</td> <td>杭全体の半数の杭が降伏耐力に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)</td> </tr> </table>	押込み側	最外縁の杭頭反力が設計鉛直支持力の上限値に達するとき	引抜き側	全本数の半数の杭頭反力が、設計引抜き抵抗力の上限値に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)	杭部材	杭全体の半数の杭が降伏耐力に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)	<table border="1"> <tr> <td>押込み側</td> <td>最外縁の杭頭反力が先端支持力と周面摩擦力の合計を越えるか杭の圧縮速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき</td> </tr> <tr> <td>引抜き側</td> <td>最外縁の杭頭反力が周面摩擦力以上あるいは杭の引張速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき</td> </tr> <tr> <td>杭部材</td> <td>施設の重要度、役割等に応じて個別に設定する。一般には地中部分に最初に塑性ヒンジ(全塑性ヒンジ)発生時点を超えて定義する。</td> </tr> </table>	押込み側	最外縁の杭頭反力が先端支持力と周面摩擦力の合計を越えるか杭の圧縮速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき	引抜き側	最外縁の杭頭反力が周面摩擦力以上あるいは杭の引張速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき	杭部材	施設の重要度、役割等に応じて個別に設定する。一般には地中部分に最初に塑性ヒンジ(全塑性ヒンジ)発生時点を超えて定義する。	<table border="1"> <tr> <td>杭基礎の破壊 (レベル1地震動)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>押込み側</td> <td>最外縁の杭頭反力が先端支持力と周面摩擦力の合計を越えるか杭の圧縮速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき</td> </tr> <tr> <td>引抜き側</td> <td>最外縁の杭頭反力が周面摩擦力以上あるいは杭の引張速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき</td> </tr> <tr> <td>杭部材</td> <td>施設の重要度、役割等に応じて個別に設定する。一般には地中部分に最初に塑性ヒンジ(全塑性ヒンジ)発生時点を超えて定義する。</td> </tr> </table>	杭基礎の破壊 (レベル1地震動)		押込み側	最外縁の杭頭反力が先端支持力と周面摩擦力の合計を越えるか杭の圧縮速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき	引抜き側	最外縁の杭頭反力が周面摩擦力以上あるいは杭の引張速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき	杭部材	施設の重要度、役割等に応じて個別に設定する。一般には地中部分に最初に塑性ヒンジ(全塑性ヒンジ)発生時点を超えて定義する。
押込み側	1 列の杭の杭頭反力が、押込み支持力の上限値に達するとき																																				
引抜き側	—																																				
杭部材	全ての杭において、杭体が降伏するとき																																				
押込み側	最外縁の杭頭反力が設計鉛直支持力の上限値に達するとき																																				
引抜き側	全本数の半数の杭頭反力が、設計引抜き抵抗力の上限値に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)																																				
杭部材	杭全体の半数の杭が降伏耐力に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)																																				
押込み側	最外縁の杭頭反力が設計鉛直支持力の上限値に達するとき																																				
引抜き側	全本数の半数の杭頭反力が、設計引抜き抵抗力の上限値に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)																																				
杭部材	杭全体の半数の杭が降伏耐力に達するとき (杭本数が奇数となる場合、中央の杭は考慮しない)																																				
押込み側	最外縁の杭頭反力が先端支持力と周面摩擦力の合計を越えるか杭の圧縮速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき																																				
引抜き側	最外縁の杭頭反力が周面摩擦力以上あるいは杭の引張速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき																																				
杭部材	施設の重要度、役割等に応じて個別に設定する。一般には地中部分に最初に塑性ヒンジ(全塑性ヒンジ)発生時点を超えて定義する。																																				
杭基礎の破壊 (レベル1地震動)																																					
押込み側	最外縁の杭頭反力が先端支持力と周面摩擦力の合計を越えるか杭の圧縮速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき																																				
引抜き側	最外縁の杭頭反力が周面摩擦力以上あるいは杭の引張速度以上になったときパイロニアで折れ点を越えたとき																																				
杭部材	施設の重要度、役割等に応じて個別に設定する。一般には地中部分に最初に塑性ヒンジ(全塑性ヒンジ)発生時点を超えて定義する。																																				
応答塑性率の算定法	<p>地震時保有水平耐力法 (エネルギー一定則)</p> <p>エネルギー一定則による基礎の応答塑性率の算定法</p> <p>基礎の応答塑性率： $\mu_{FR} = 1/2 \{ 1 + (k_{hCF} / k_{hc})^2 \}$ γ : 基礎の降伏剛性に対する二次剛性の比 ($\gamma = 0$) k_{hyF} : 基礎が降伏に達するときの水平震度 k_{hCF} : 基礎の地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 k_{hc} : 道示に規定する地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 C_D : 減衰定数別補正係数 (一般に 2/3)</p>	<p>地震時保有水平耐力法 (エネルギー一定則)</p> <p>エネルギー一定則による基礎の応答塑性率の算定法</p> <p>基礎の応答塑性率： $\mu_{FR} = 1/2 \{ 1 + (k_{hCF} / k_{hc})^2 \}$ γ : 基礎の降伏剛性に対する二次剛性の比 ($\gamma = 0$) k_{hyF} : 基礎が降伏に達するときの水平震度 k_{hCF} : 基礎の地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 k_{hc} : 道示に規定する地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 C_D : 減衰定数別補正係数 (一般に 2/3)</p>	<p>非線形スペクトル法</p> <p>等価固有周期 T_{eq} と降伏震度 k_{hy} から応答塑性率を求める方法</p> <p>① 地盤区別の所要降伏震度スペクトルを選定する。 ↓ ② 構造物の固有周期を算定する。 ↓ ③ 構造物の非線形解析により降伏震度を求める。 ↓ ④ 所要降伏震度スペクトルより応答塑性率を読みとる。</p>	<p>エネルギー一定則</p> <p>エネルギー一定則による基礎の応答塑性率の算定法</p> <p>基礎の応答塑性率： $\mu_{FR} = 1/2 \{ 1 + (k_{hCF} / k_{hc})^2 \}$ γ : 基礎の降伏剛性に対する二次剛性の比 ($\gamma = 0$) k_{hyF} : 基礎が降伏に達するときの水平震度 k_{hCF} : 基礎の地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 k_{hc} : 道示に規定する地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 C_D : 減衰定数別補正係数 (一般に 2/3)</p>																																	

4. 安全性照査

比較	道		鉄		道		港		湾																																																																							
	道	路	耐震性能	構造物の耐震性能	部材の損傷	部材の損傷	道	港	湾																																																																							
耐震性能	耐震設計で考慮する地震動	<table border="1"> <tr> <td>目標とする橋の耐震性能</td> <td>耐震設計法</td> </tr> <tr> <td>重要度が極めて高い橋 (A種の橋)</td> <td>静的解析法</td> </tr> <tr> <td>重要度が極めて高い橋 (B種の橋)</td> <td>動的解析法 (地震時の挙動が複雑な橋)</td> </tr> </table>	目標とする橋の耐震性能	耐震設計法	重要度が極めて高い橋 (A種の橋)	静的解析法	重要度が極めて高い橋 (B種の橋)	動的解析法 (地震時の挙動が複雑な橋)	<table border="1"> <tr> <td>橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動</td> <td>時刻歴応答解析法</td> </tr> <tr> <td>橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動 (プレート境界型の大規模な地震)</td> <td>静的解析法</td> </tr> <tr> <td>橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動 (長距離輸送型地震のような地震動)</td> <td>地震時保有水平耐力法</td> </tr> </table>	橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動	時刻歴応答解析法	橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動 (プレート境界型の大規模な地震)	静的解析法	橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動 (長距離輸送型地震のような地震動)	地震時保有水平耐力法	<p>構造物の耐震性能</p> <p>耐震性能Ⅰ：地震後にも崩壊せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない。</p> <p>耐震性能Ⅱ：地震後に補修を必要とするが、早期に昨日が回復できる。</p> <p>耐震性能Ⅲ：地震によって構造物全体系が崩壊しない。</p>	<p>部材の損傷</p> <p>損傷レベルⅠ：無損傷</p> <p>損傷レベルⅡ：場合によっては補修が必要な損傷</p> <p>損傷レベルⅢ：補修が必要な損傷</p> <p>損傷レベルⅣ：補修が必要で、場合によっては、部材の取替が必要な損傷</p>	<p>基礎の安定</p> <p>安定レベルⅠ：無損傷 (作用荷重が降伏支持力以下)</p> <p>安定レベルⅡ：場合によっては、補修が必要な損傷</p> <p>安定レベルⅢ：補修が必要で、場合によっては構造物の矯正等が必要な損傷</p>	<table border="1"> <tr> <td>耐震設計で考慮する地震動</td> <td>対象施設</td> <td>耐震性能</td> </tr> <tr> <td>再現期間 75 年の期待地震動</td> <td>全ての施設 (他の基準等で規定のある施設を視る)</td> <td>施設の健全な機能を損なわない</td> </tr> <tr> <td>再現期間数百年の期待地震動、プレート内地震動、あるいはプレート境界地震動</td> <td>耐震強化施設 (耐震強化覆片、防火拠点等のうち耐震強化の必要な覆片)。その他、橋梁、沈埋物等の港湾の施設で、地震動を考慮すべき施設</td> <td>所用の機能を保持する</td> </tr> </table>	耐震設計で考慮する地震動	対象施設	耐震性能	再現期間 75 年の期待地震動	全ての施設 (他の基準等で規定のある施設を視る)	施設の健全な機能を損なわない	再現期間数百年の期待地震動、プレート内地震動、あるいはプレート境界地震動	耐震強化施設 (耐震強化覆片、防火拠点等のうち耐震強化の必要な覆片)。その他、橋梁、沈埋物等の港湾の施設で、地震動を考慮すべき施設	所用の機能を保持する	<p>地震動レベル</p> <p>レベルⅠの地震動に対して</p> <p>レベルⅡの地震動に対して</p>	<p>塑性率</p> <table border="1"> <tr> <th>構造物の重要度</th> <th>許容塑性率 (μ)</th> </tr> <tr> <td>特 定</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>A 級</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>B 級</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>C 級</td> <td>2.3</td> </tr> </table> <p>弾塑性法による保有耐力照査</p> $\mu_a = 1.25 + 62.5 (D) \leq 2.5$ <p>ここに、 μ_a : レベルⅡ地震動に対する許容塑性率 I : 鋼管杭の肉厚 (mm) D : 鋼管杭の径 (mm)</p>	構造物の重要度	許容塑性率 (μ)	特 定	1.0	A 級	1.3	B 級	1.6	C 級	2.3	<p>塑性率</p> <table border="1"> <tr> <th>耐震性能</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> </tr> <tr> <th>安定レベル</th> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <th>塑性率の制限値</th> <td>1</td> <td>5</td> <td>8</td> </tr> </table> <p>(鋼管杭)</p>	耐震性能	I	II	III	安定レベル	1	2	3	塑性率の制限値	1	5	8	<p>変形量</p> <p>供用の観点からの岸壁の変位量の目安</p> <table border="1"> <tr> <th>構造形式</th> <th>重力式係船岸</th> <th>矢板式係船岸</th> </tr> <tr> <th>岸壁水深</th> <td>-7.5m 以上</td> <td>-7.5m 未満</td> </tr> <tr> <th>供用可能</th> <td>0~30 cm</td> <td>0~20 cm</td> </tr> <tr> <th>供用制限</th> <td>30~100 cm</td> <td>20~50 cm</td> </tr> </table> <p>機能上の観点からの岸壁の変位量の上限の目安</p> <table border="1"> <tr> <th>構造物本体</th> <th>傾斜</th> <th>法線の出入り</th> <th>沈下</th> <th>エプロン上の段差</th> <th>エプロンと背後地の段差</th> </tr> <tr> <td>エプロン</td> <td>20~30 cm</td> <td>3~5°</td> <td>20~30 cm</td> <td>3~10 cm</td> <td>30~70 cm</td> </tr> </table>	構造形式	重力式係船岸	矢板式係船岸	岸壁水深	-7.5m 以上	-7.5m 未満	供用可能	0~30 cm	0~20 cm	供用制限	30~100 cm	20~50 cm	構造物本体	傾斜	法線の出入り	沈下	エプロン上の段差	エプロンと背後地の段差	エプロン	20~30 cm	3~5°	20~30 cm	3~10 cm	30~70 cm	<p>安全性照査</p> <p>基礎の応答塑性率 ≤ 4.0</p> <p>*) 基本的には基礎の降伏を許容しない。</p> <p>応答断面力 \leq 部材耐力</p> <p>*) 鋼管杭はせん断耐力の照査を省略してよい。</p>	<p>変位</p> <p>ワーキング底面位置において</p> <p>① 応答水平変位量 ≤ 40 cm</p> <p>② 応答回転角 ≤ 0.025 rad</p>
	目標とする橋の耐震性能	耐震設計法																																																																														
重要度が極めて高い橋 (A種の橋)	静的解析法																																																																															
重要度が極めて高い橋 (B種の橋)	動的解析法 (地震時の挙動が複雑な橋)																																																																															
橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動	時刻歴応答解析法																																																																															
橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動 (プレート境界型の大規模な地震)	静的解析法																																																																															
橋の供用期間中に発生する確率が低い地震動 (長距離輸送型地震のような地震動)	地震時保有水平耐力法																																																																															
耐震設計で考慮する地震動	対象施設	耐震性能																																																																														
再現期間 75 年の期待地震動	全ての施設 (他の基準等で規定のある施設を視る)	施設の健全な機能を損なわない																																																																														
再現期間数百年の期待地震動、プレート内地震動、あるいはプレート境界地震動	耐震強化施設 (耐震強化覆片、防火拠点等のうち耐震強化の必要な覆片)。その他、橋梁、沈埋物等の港湾の施設で、地震動を考慮すべき施設	所用の機能を保持する																																																																														
構造物の重要度	許容塑性率 (μ)																																																																															
特 定	1.0																																																																															
A 級	1.3																																																																															
B 級	1.6																																																																															
C 級	2.3																																																																															
耐震性能	I	II	III																																																																													
安定レベル	1	2	3																																																																													
塑性率の制限値	1	5	8																																																																													
構造形式	重力式係船岸	矢板式係船岸																																																																														
岸壁水深	-7.5m 以上	-7.5m 未満																																																																														
供用可能	0~30 cm	0~20 cm																																																																														
供用制限	30~100 cm	20~50 cm																																																																														
構造物本体	傾斜	法線の出入り	沈下	エプロン上の段差	エプロンと背後地の段差																																																																											
エプロン	20~30 cm	3~5°	20~30 cm	3~10 cm	30~70 cm																																																																											
安全性照査	<p>塑性率</p> <p>基礎の応答塑性率が耐震性能に応じた塑性率の制限値以内であること。</p>	<p>変形量</p> <p>基礎部材の応答変形量が耐震性能に応じた変形量の制限値以内であること。</p>	<p>安定レベル</p> <p>基礎部材の損傷レベル</p>	<p>損傷レベル</p> <p>基礎部材の損傷レベル</p>	<p>変位</p> <p>① 最大応答変位量 \leq 最大変位量の制限値</p> <p>② 残留変位量 \leq 残留変位量の制限値</p>																																																																											

道路橋と鉄道橋の場所打ち杭基礎の耐震設計計算例

平成9年3月に刊行されている「道路橋の耐震設計に関する資料（(社)日本道路協会）」のRC橋脚場所打ち杭基礎の設計計算例に鉄道基準を適用する。

しかし、道路橋と鉄道橋の設計においては、以下の表に示すような相違点があり、厳密な比較は困難なので、桁と橋脚重量を同一とし、それぞれの設計手法を適用した例である。

道路橋と鉄道橋の主な設計思想の相違

項 目	道路橋	鉄道橋
土の水中単位体積重量	$\gamma' = \gamma - 0.9$	$\gamma' = \gamma - 1.0$
杭の初期剛性 (施工による低減)	低減しない。	低減する。 (今回：低減しない。)
地震時活荷重	考慮しない。	考慮する。(単線載荷) (今回：考慮しない。)
慣性力に作用させる フーチング重量	全重量	有効重量
軸力変動の考え方	押込み側：死荷重 引抜き側：0	応答軸力
外 力	別紙比較表参照	別紙比較表参照
降伏点の定義	同 上	同 上
安全性照査	同 上	同 上

道路橋と鉄道橋の場所打ち杭基礎の耐震設計計算例

-148-

比較	道路橋	鉄道橋																																																		
対象構造物																																																				
	<p>杭の諸元</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>杭種</td><td>場所打ちコンクリート杭</td></tr> <tr><td>杭長</td><td>L=15.0m</td></tr> <tr><td>杭径</td><td>D=1.2m</td></tr> <tr><td>軸方向鉄筋</td><td>D22-20本</td></tr> <tr><td>帯鉄筋</td><td>D16@150mm</td></tr> </table> <p>使用材料</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>部材</th><th>コンクリート</th><th>鉄筋</th></tr> <tr><td>橋脚</td><td>$\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$</td><td rowspan="3">SD295</td></tr> <tr><td>フーチング</td><td>$\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$</td></tr> <tr><td>杭</td><td>$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ ($\sigma_{28}=300\text{kgf/cm}^2$)</td></tr> </table>	杭種	場所打ちコンクリート杭	杭長	L=15.0m	杭径	D=1.2m	軸方向鉄筋	D22-20本	帯鉄筋	D16@150mm	部材	コンクリート	鉄筋	橋脚	$\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$	SD295	フーチング	$\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$	杭	$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ ($\sigma_{28}=300\text{kgf/cm}^2$)																															
杭種	場所打ちコンクリート杭																																																			
杭長	L=15.0m																																																			
杭径	D=1.2m																																																			
軸方向鉄筋	D22-20本																																																			
帯鉄筋	D16@150mm																																																			
部材	コンクリート	鉄筋																																																		
橋脚	$\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$	SD295																																																		
フーチング	$\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$																																																			
杭	$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ ($\sigma_{28}=300\text{kgf/cm}^2$)																																																			
	<p>地盤条件</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">層番号</th> <th rowspan="2">地盤の種類</th> <th rowspan="2">層厚(m)</th> <th rowspan="2">平均N値</th> <th rowspan="2">粘着力 C(tf/m²)</th> <th rowspan="2">せん断抵抗角 ϕ (度)</th> <th colspan="2">単位体積重量(tf/m³)</th> </tr> <tr> <th>γ</th> <th>γ'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>第1層</td><td>粘性土</td><td>2.5</td><td>5</td><td>3.0</td><td>0</td><td>1.7</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>第2層</td><td>砂質土</td><td>4.0</td><td>10</td><td>0.0</td><td>27</td><td>1.7</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>第3層</td><td>粘性土</td><td>3.5</td><td>5</td><td>3.0</td><td>0</td><td>1.7</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>第4層</td><td>砂質土</td><td>3.5</td><td>15</td><td>0.0</td><td>30</td><td>1.9</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>第5層</td><td>砂質土</td><td>1.4</td><td>50</td><td>0.0</td><td>40</td><td>1.9</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	層番号	地盤の種類	層厚(m)	平均N値	粘着力 C(tf/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (度)	単位体積重量(tf/m ³)		γ	γ'	第1層	粘性土	2.5	5	3.0	0	1.7	0.8	第2層	砂質土	4.0	10	0.0	27	1.7	0.8	第3層	粘性土	3.5	5	3.0	0	1.7	0.8	第4層	砂質土	3.5	15	0.0	30	1.9	1.0	第5層	砂質土	1.4	50	0.0	40	1.9	1.0	
層番号	地盤の種類							層厚(m)	平均N値	粘着力 C(tf/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (度)	単位体積重量(tf/m ³)																																								
		γ	γ'																																																	
第1層	粘性土	2.5	5	3.0	0	1.7	0.8																																													
第2層	砂質土	4.0	10	0.0	27	1.7	0.8																																													
第3層	粘性土	3.5	5	3.0	0	1.7	0.8																																													
第4層	砂質土	3.5	15	0.0	30	1.9	1.0																																													
第5層	砂質土	1.4	50	0.0	40	1.9	1.0																																													
設計ばね定数(初期勾配)	<p>杭軸方向の設計</p> $K_{VE} = \{0.031(L/D) - 0.15\} \cdot \frac{A_p E_p}{L} \text{ (杭頭)}$	$K_V = f_{rk} (0.2 \alpha E_o D^{-3/4}) \cdot A_v \text{ (杭先端)}$																																																		
	<p>鉛直ばね定数</p> $K_{VE} = 4.458 \times 10^4 \text{ (tf/m)}$	$K_V = 1.56 \times 10^4 \text{ (tf/m)}$																																																		
	<p>杭周面の設計</p> <p>せん断ばね定数</p>	$K_{SV} = f_{rk} (0.03 \alpha E_o D^{-3/4}) \cdot U \cdot \Delta l$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>層番号</th> <th>地盤の種類</th> <th>N値</th> <th>κ_{SV} (tf/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>第1層</td><td>粘性土</td><td>5</td><td>—*)</td></tr> <tr><td>第2層</td><td>粘性土</td><td>10</td><td>1.561×10^3</td></tr> <tr><td>第3層</td><td>粘性土</td><td>5</td><td>0.780×10^3</td></tr> <tr><td>第4層</td><td>砂質土</td><td>15</td><td>2.337×10^3</td></tr> <tr><td>第5層</td><td>砂質土</td><td>50</td><td>7.800×10^3</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">*) 杭頭~1/β間は考慮しない</p>	層番号	地盤の種類	N値	κ_{SV} (tf/m)	第1層	粘性土	5	—*)	第2層	粘性土	10	1.561×10^3	第3層	粘性土	5	0.780×10^3	第4層	砂質土	15	2.337×10^3	第5層	砂質土	50	7.800×10^3																										
	層番号	地盤の種類	N値	κ_{SV} (tf/m)																																																
第1層	粘性土	5	—*)																																																	
第2層	粘性土	10	1.561×10^3																																																	
第3層	粘性土	5	0.780×10^3																																																	
第4層	砂質土	15	2.337×10^3																																																	
第5層	砂質土	50	7.800×10^3																																																	
<p>設計水平ばね定数 (設計水平地盤反力係数)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>層番号</th> <th>地盤の種類</th> <th>N値</th> <th>k_{HE} (tf/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>第1層</td><td>粘性土</td><td>5</td><td>1.944×10^3</td></tr> <tr><td>第2層</td><td>砂質土</td><td>10</td><td>3.889×10^3</td></tr> <tr><td>第3層</td><td>粘性土</td><td>5</td><td>1.944×10^3</td></tr> <tr><td>第4層</td><td>砂質土</td><td>15</td><td>5.833×10^3</td></tr> <tr><td>第5層</td><td>砂質土</td><td>50</td><td>19.443×10^3</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">($\eta_k \alpha_k = 2/3 \times 1.5 = 1.0$)</p>	層番号	地盤の種類	N値	k_{HE} (tf/m ³)	第1層	粘性土	5	1.944×10^3	第2層	砂質土	10	3.889×10^3	第3層	粘性土	5	1.944×10^3	第4層	砂質土	15	5.833×10^3	第5層	砂質土	50	19.443×10^3	$k_{HE} = \eta_k \alpha_k \cdot \frac{1}{30} \alpha E_o \cdot \left(\frac{\sqrt{D/B}}{30}\right)^{-3/4}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>層番号</th> <th>地盤の種類</th> <th>N値</th> <th>k_{HEG} (tf/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>第1層</td><td>粘性土</td><td>5</td><td>0.574×10^3</td></tr> <tr><td>第2層</td><td>砂質土</td><td>10</td><td>1.147×10^3</td></tr> <tr><td>第3層</td><td>粘性土</td><td>5</td><td>0.574×10^3</td></tr> <tr><td>第4層</td><td>砂質土</td><td>15</td><td>1.717×10^3</td></tr> <tr><td>第5層</td><td>砂質土</td><td>50</td><td>5.737×10^3</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">($eg = 0.416$)</p>	層番号	地盤の種類	N値	k_{HEG} (tf/m ³)	第1層	粘性土	5	0.574×10^3	第2層	砂質土	10	1.147×10^3	第3層	粘性土	5	0.574×10^3	第4層	砂質土	15	1.717×10^3	第5層	砂質土	50	5.737×10^3			
層番号	地盤の種類	N値	k_{HE} (tf/m ³)																																																	
第1層	粘性土	5	1.944×10^3																																																	
第2層	砂質土	10	3.889×10^3																																																	
第3層	粘性土	5	1.944×10^3																																																	
第4層	砂質土	15	5.833×10^3																																																	
第5層	砂質土	50	19.443×10^3																																																	
層番号	地盤の種類	N値	k_{HEG} (tf/m ³)																																																	
第1層	粘性土	5	0.574×10^3																																																	
第2層	砂質土	10	1.147×10^3																																																	
第3層	粘性土	5	0.574×10^3																																																	
第4層	砂質土	15	1.717×10^3																																																	
第5層	砂質土	50	5.737×10^3																																																	

鉛直方向

押込み：

$$P_{NU} = \min \begin{cases} qd \cdot A \text{ (先端)} + U \cdot z \cdot Li \cdot fi \text{ (周面)} \\ qd \leq 300 \text{ (tf/m}^2\text{)} \text{ (砂質土)} \\ f = \begin{cases} 0.5N \leq 20 \text{ (tf/m}^2\text{)} \text{ (砂質土)} \\ C \text{ または } N \leq 15 \text{ (tf/m}^2\text{)} \text{ (粘性土)} \end{cases} \\ 0.85 \sigma_{ck} A_c + \sigma_y A_s \end{cases}$$

引抜き：

$$P_{TU} = \min \begin{cases} U \cdot z \cdot Li \cdot fi \text{ (周面)} + W \text{ (自重)} \\ \sigma_y A_s \end{cases}$$

押込み：

$$P_{NU} = \begin{cases} 339 \text{ (先端)} + 393 \text{ (周面)} = 732 \text{ (tf)} \\ 0.85 \times 240 \times 10 \times 1.131 + 3000 \times 10 \times 77.42 \times 10^{-4} = 2539 \text{ (tf)} \end{cases}$$

引抜き：

$$P_{TU} = \begin{cases} 393 \text{ (周面)} + 25 \text{ (自重)} = 418 \text{ (tf)} \\ 3000 \times 10 \times 77.42 \times 10^{-4} = 232 \text{ (tf)} \end{cases}$$

杭先端： $R_p = q_p A_p$
 $q_p = 7N \leq 350 \text{ (tf/m}^2\text{)} \text{ (砂質土)}$

杭周面： $U \cdot \gamma_i \cdot l_i$

$$\gamma_i = \begin{cases} 0.5N \leq 20 \text{ (tf/m}^2\text{)} \text{ (砂質土)} \\ \frac{qu}{2} \text{ または } N \leq 15 \text{ (tf/m}^2\text{)} \text{ (粘性土)} \end{cases}$$

杭先端： $RP = 7 \times 50 \pi = 396 \text{ (tf)}$

杭周面： $U \cdot \gamma_i \cdot l_i =$

層番号	地盤の種類	N 値	層厚 (m)	$U \cdot \gamma_i \cdot l_i$ (tf)
第1層	粘性土	5	2.5	—*)
第2層	砂質土	10	4.0	75.4
第3層	粘性土	5	3.5	66.0
第4層	砂質土	15	3.5	99.0
第5層	砂質土	50	1.4	105.6
$U \sum \gamma_i l_i$ (tf)				393.0

*) 杭頭~1/β間は考慮しない

水平方向

$P_{HU} = \eta_p \alpha_p P_U$

- 粘性土： $\eta_p = 1.0$
- 砂質土： $\eta_p \alpha_p =$ 荷重載荷直角方向の杭の中心間隔/杭径 ($\leq \alpha_p$)
- $\alpha_p = \begin{cases} 1.5 \text{ (粘性土: } N \geq 2) \\ 3.0 \text{ (砂質土)} \end{cases}$

(砂質土)

・杭列による補正係数：

1列目	2列目	3列目
1.0	0.5	0.5

・ P_U ：地震時の受働土圧強度

$Peg(z) = \eta_n \eta_m Pe(z) \leq Pe(z)$

- $\eta_n = \begin{cases} 1.0 \text{ (粘性土)} \\ (d/3)^{0.42} \cdot n^{-0.09} \text{ (砂質土)} \end{cases}$
- $\eta_m =$

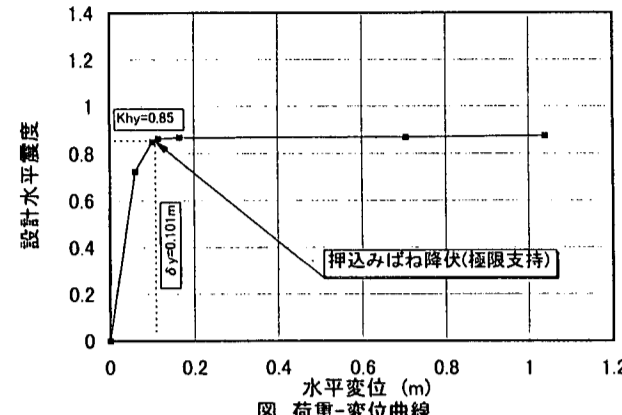
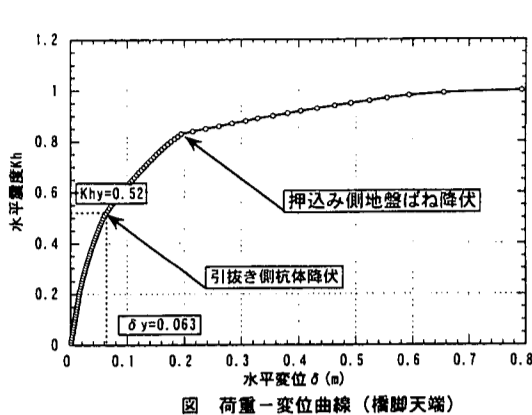
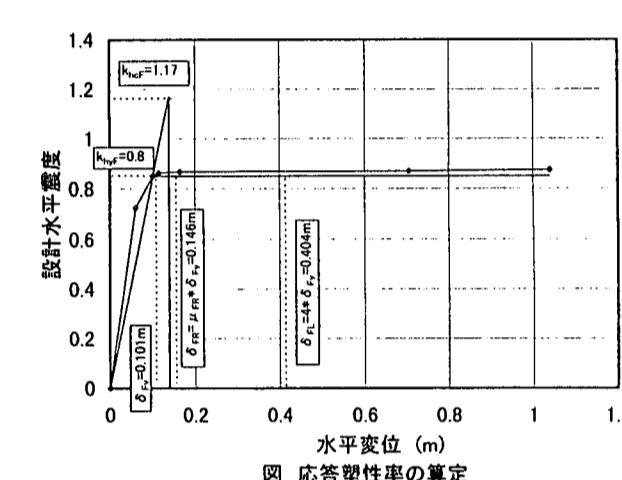
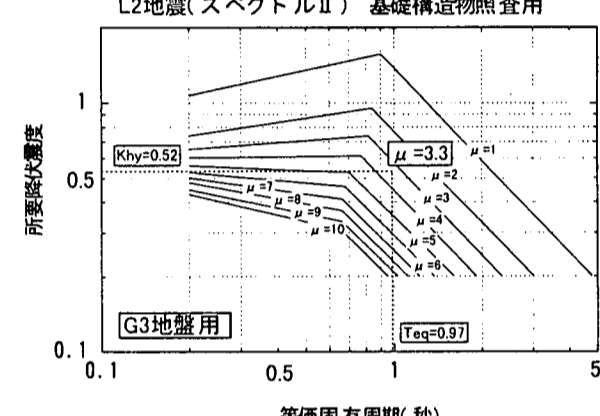
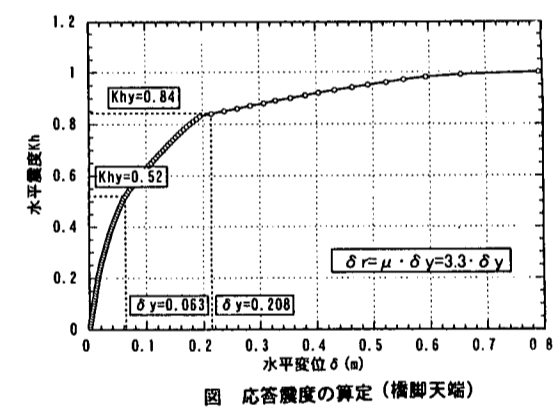
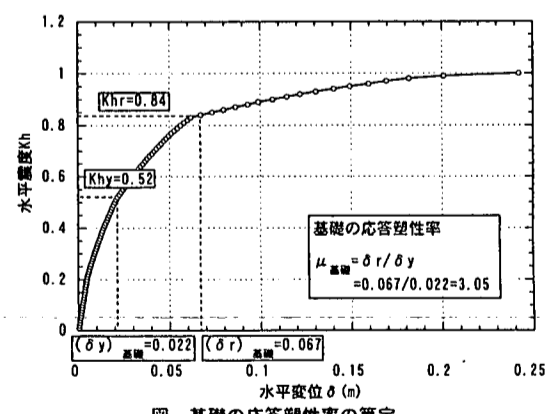
1列目	2列目	3列目
1.0	0.5	0.4
- $Pe(z)$ ：有効抵抗土圧強度

層番号	地盤の種類	層厚 (m)	P_{HU} (tf/m ²)		
			1列目	2列目	3列目
第1層	粘性土	2.5	15.89	15.89	15.89
			18.89	18.89	18.89
第2層	砂質土	4.0	50.85	25.42	25.42
			75.54	37.77	37.77
第3層	粘性土	3.5	23.69	23.69	23.69
			27.89	27.89	27.89
第4層	砂質土	3.5	112.18	56.09	56.09
			143.36	71.68	71.68
第5層	砂質土	1.4	245.36	122.62	122.62
			266.58	133.29	133.29

$\eta_p \alpha_p = \begin{cases} 1.5 \text{ (粘性土)} \\ 2.542 \text{ (砂質土)} \end{cases}$

層番号	地盤の種類	層厚 (m)	Peg (tf/m ²)		
			1列目	2列目	3列目
第1層	粘性土	2.5	17.34	17.37	17.34
			27.00	27.00	27.00
第2層	砂質土	4.0	28.08	14.04	11.23
			49.68	24.84	19.87
第3層	粘性土	3.5	27.00	27.00	27.00
			27.00	27.00	27.00
第4層	砂質土	3.5	96.57	48.29	38.63
			123.19	61.60	49.28
第5層	砂質土	1.4	188.85	94.42	75.54
			205.17	102.58	82.07

$\eta_n = \begin{cases} 1.0 \text{ (粘性土)} \\ 0.84 \text{ (砂質土)} \end{cases}$

	道 路 橋	鉄 道 橋	
耐震性能		耐震性能Ⅱ (仮定)	
安 定 照 査	 <p>図 荷重-変位曲線</p>	 <p>図 荷重-変位曲線 (橋脚天端)</p>	
	 <p>図 応答塑性率の算定</p> $\mu_{FR} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + (K_{hCF} / K_{hy})^2 \right\}$ $= \frac{1}{2} \left\{ 1 + (1.17 / 0.85)^2 \right\} = 1.45$	<p>L2地震(スペクトルⅡ) 基礎構造物照査用</p>  <p>図 構造物全体系の応答塑性率</p>	
		 <p>図 応答度度の算定 (橋脚天端)</p>	 <p>図 基礎の応答度度の算定 (フーチング中心での荷重-変位曲線)</p>
	塑性率の制限値	$\mu_{FL} = 4.0$	$\mu_L = 5.0$ (安定レベル2)
照 査	OK	OK	

基礎の応答塑性率の算定

安定照査

		道 路 橋		鉄 道 橋	
部 材 照	発生モーメントおよび耐力分布	<p style="text-align: center;">— 曲げモーメント - - - 杭体の降伏曲げモーメント</p> <p style="text-align: center;">図 モーメント分布と耐力</p>		応答曲率	<p>・ 押込み杭の応答曲率[*]</p> $\phi_r = 0.0034 (1/m)$ <p>(応答震度: kh=0.84)</p>
		制限値	<p>・ 最大荷重時の設計曲率 (制限値)</p> $\phi_{md} = 0.016 (1/m)$ <p>(損傷レベル2)</p>		
査	発生せん断力	$S = 699.1 (tf)$ <p>〈9本分〉</p>		発生せん断力	$V_{mu} = 86.4 (tf)$ <p>(鉄筋の材料修正係数: $\rho_m = 1.2$)</p> <p>〈1本分: 押込み杭〉</p>
	せん断耐力	$P_s = 983.7 (tf)$ <p>〈9本分〉</p>		せん断耐力	$V_{yd} = 95.5 (tf)$ <p>〈1本分: 押込み杭〉</p>
	照査	曲げ	OK	変形性能	OK
	せん断	OK	せん断	OK	

* 引抜き杭は全引張りとなるため、変形性能の検討は行わない。

杭基礎耐震設計の今後の展望

1. 杭基礎耐震設計の高度化に向けて

1.1 地震の影響評価(外力)

- 1) 強震観測ネットワークの整備
- 2) 断層モデルを用いた地震動推定手法に関する研究
- 3) 地震動に関するハザードマップの整備
- 4) 地震時土圧に関する観測、実験の実施

1.2 解析手法

- 1) 実構造物杭基礎の地震時挙動の観測
- 2) 杭基礎の地震時挙動に関する大型、遠心実験
- 3) 液状化、流動化現象のメカニズム、解析モデルに関する検討
- 4) 軸力変動を考慮した杭体の荷重-変形モデルの開発

1.3 安全性の評価(照査)法

- 1) 構造物の重要度に応じた耐震性水準設定に関する研究
- 2) 各種荷重、抵抗要因の変動特性に関する検討

1.4 国際標準化

- 1) 日本国内の各種構造物設計基準の整合性に関する検討
- 2) ISO、欧米各国における検討状況の把握
- 3) 日本からISOへの発言、提案

2. 新技術・工法の導入に向けて

2.1 性能照査型設計法の導入

- 1) 性能照査型設計法概念、定義の統一
- 2) 性能照査型設計基準の確立
- 3) 性能評価(新技術審査)機関・制度の確立

2.2 新技術・工法導入の推進方策

- 1) プロポーザル、VE等の発注制度の確立、普及
- 2) 試験フィールドの提供
- 3) 試験施工結果の客観的評価および公表