ＩＳＳＮ ０３８６-５８７８
土木研究所資料 第4382号

土 木 研 究 所 資 料

道路橋杭基礎の性能規定及び部分係数設計法に関する研究

平成30年12月

国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

Copyright © (2018) 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, 国立研究開発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，国立研究開発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
第4382号2018年12月

道路橋杭基礎の性能規定及び部分係数設計法に関する研究

構造物メンテナンス研究センター　橋梁構造研究グループ
上席研究員　七澤　利明　*
主任研究員　河野　哲也　**
交流研究員　坂下　学　***

*　現　国土交通省　国土技術政策総合研究所　構造・基礎研究室　室長
**　現　国立大学法人富山大学大学院理工学研究部　准教授
***　交流研究員在職期間：　平成28　年8　月～平成30　年7　月

要　旨

本研究では、道路橋の杭基礎を対象に、平成24年道路橋示方書・同解説における設計法の意図を整理した上で、性能規定化された設計体系の考え方について検討・提案するとともに、安全性のばらつきの要因について分析・評価を行った上で、杭工法や地盤調査法等の条件の違いに応じた部分係数の設定方法について検討・提案した。

キーワード：杭基礎、部分係数

道路橋杭基礎の性能規定及び部分係数設計法に関する研究

目次

1. はじめに……1
1.1 研究の背景とねらい……1
1.2 研究の概要と本書の構成……2
2. 道路橋杭基礎に求められる性能に基づく設計体系の提案……3
2.1 安定照査……3
2.1.1 H24 道示の設計法の概要……3
2.1.2 従来の設計法の課題を踏まえた設計体系の提案……5
2.2 部材照査……7
2.2.1 H24 道示の設計法の概要……7
2.2.2 従来の設計法の課題を踏まえた設計体系の提案……13
3. 杭基礎の安定照査及び部材照査に関係する不確実性の評価……16
3.1 不確実性の評価の方法……16
3.2 部材・地盤の抵抗特性に関する不確実性の統計量……19
3.2.1 部材の強度・変形特性に関する不確実性……19
3.2.2 地盤抵抗に関する不確実性……25
3.2.3 杭頭結合度の不確実性……31
3.3 モンテカルロシミュレーションによる応答値及び抵抗値の不確実性評価……32
3.3.1 試算対象基礎……32
3.3.2 応答値及び抵抗値の不確実性の評価方法……37
3.3.3 特性値を用いた応答値（設計値）の算出結果……40
3.3.4 応答値の不確実性の統計量……58
3.3.5 特性値を用いた抵抗値（設計値）の算出結果……77
3.3.6 コンクリート杭の抵抗値の不確実性の統計量……85
4. 杭基礎の安定照査における部分係数の検討……110
4.1 はじめに……110
4.2 杭基礎の安定照査における部分係数の検討……110
4.2.1 軸方向押込み力に対する耐荷性能の照査……110
4.2.2 水平荷重に対する耐荷性能の照査……120
4.3 まとめ……127

5. 杭体の部材照査における部分係数の検討……129
5.1 はじめに……129
5.2 曲げモーメントに対する耐荷性能の照査……129
5.3 まとめ……140

付属資料（巻末 CD）

1. 確定値とした不確実性の影響について……付 1-1
1.1 杭頭結合度の不確実性……付 1-1
1.1.1 杭頭結合度について……付 1-1
1.1.2 統計量の算出……付 1-2
1.1.3 発生断面力に与える影響……付 1-5
1.2 曲げ耐力の算定式の不確実性……付 1-13
1.2.1 算定式の統計量……付 1-13
1.2.2 部分係数の算出……付 1-13
1.3 断面力算出における杭体の剛性の不確実性……付 1-19
1.3.1 検討方法……付 1-19
1.3.2 検討結果……付 1-20
2. モンテカルロシミュレーションによる応答値の算出……付 2-1
2.1 杭頭反力，杭頭水平変位，発生曲げモーメントの統計量……付 2-1
2.2 鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭の圧縮応力度の統計量……付 2-92
2.3 杭頭反力，杭頭水平変位，発生曲げモーメントの算出……付 2-99
3. 押込み力の照査に関する信頼性指標及び部分係数の計算……付 3-1
3.1 押込み力の照査に関する信頼性指標及び感度係数の計算結果一覧……付 3-1
3.2 押込み力の照査に関する部分係数の計算結果一覧……付 3-20
3.3 押込み力の照査に関する信頼性指標，感度係数及び部分係数の計算過程……付 3-39
4. 水平変位の照査に関する信頼性指標及び部分係数の計算……付 4-1
4.1 水平変位の照査に関する信頼性指標及び感度係数の計算結果一覧……付 4-1
4.2 水平変位の照査に関する部分係数の計算結果一覧……付 4-24
4.3 水平変位の照査に関する信頼性指標，感度係数及び部分係数の計算過程……付 4-47
5. モンテカルロシミュレーションによる抵抗値の算出……付 5-1
6. 部材照査に関する信頼性指標及び部分係数の計算……付 6-1
6.1 部材照査に関する信頼性指標及び感度係数の計算結果一覧……付 6-1

6.2　部材照査に関する部分係数の計算結果一覧 ……付 6-13
6.3　部材照査に関する信頼性指標，感度係数及び部分係数の計算過程……付 6-47
7.　PHC 杭のせん断スパン ……付 7-1
7.1　PHC 杭のせん断スパン……付 7-1
7.1.1　サンプルのせん断スパン ……付 7-2
7.2　せん断スパン比の統計量……付 7-8
7.2.1　せん断スパン比及びせん断スパン比の変化率の統計量……付 7-9
7.3　せん断スパン比と杭の特性値等との関係 ……付 7-30
8.　断面変化位置の検討 ……付 8-1
8.1　検討目的……付 8-1
8.2　従来の設計法における断面変化位置の設計方法 ……付 8-1
8.3　従来の設計法における段落し位置と地中部最大曲げモーメントの発生深度との関係 ‥付 8-2
8.4　杭頭剛結の地中部最大曲げモーメントの深さ lm_F の不確実性 ……付 8-9
8.5　杭体の段落し位置の決定方法の提案 ……付 8-21

1. はじめに

1.1 研究の背景とねらい

平成 29 年道路橋示方書・同解説（以下，H29 道示）では，新たに信頼性を考慮した部分係数設計法が導入された。基礎に関連する部分係数設計法を導入した背景やねらいとして次の点があげられる。

①個々の構造物が有する安全性のばらつきの低減

例えば，レベル 2 相当の地震動を記録した過去の大地震において，基礎の損傷や変位等が原因で落橋や通行止め等の重大な被害に至った橋はごく限定的である。既設橋の多くはレベル 2 地震動に対する設計を行っておらず，液状化に対する設計が行われていない既設橋も少なくない中で，被害がごく限定的であることに対して，過去及び現在の設計基準に基づく設計が過度に安全側となっているのではないかという考え方もある。一方で，一部の地盤条件・構造条件では基礎の損傷や変位等により重大な被害が生じていることから，一律に現在の設計で考慮している安全余裕度（安全率）を下げることは必ずしも妥当ではない。こうしたことから，地盤条件・構造条件に応じた個々の構造物が有する安全性のばらつきを減らす設計法への転換が求められる。

②精度の高い技術が持つ信頼性の考慮

新たな杭工法や地盤調査法などの新技術が開発された場合，試験結果との相関からある特性値，例えば平均値，を推定する方法が定められ，その特性値が設計法の中で用いられることとなる。一方で，許容応力度法に基づく設計体系により設計を行う際には，一律の安全率が適用されることとなるため，新技術の精度が優れ推定式の推定精度が高い場合にも，そのメリットが活かせない。このことから，精度の高い技術の開発に対するモチベーションが上がらず，高精度の技術の適用が進むことによる構造物の信頼性向上にもつながらない。

この課題に対して，個々の技術の持つ精度を信頼性という形で評価し，信頼性に応じた安全余裕度を確保する設計，例えば技術の信頼性に応じて部分係数を差別化した設計法を開発して設計実務に適用することが出来れば，精度の高い技術を用いた場合に従来よりも合理的な設計を行うことが可能となる。これにより，精度の高い技術の普及や構造物の信頼性向上に繋がるものと考えられる。

③既設構造物の性能評価の合理化

古い基準で建造された既設道路橋基礎は，新設の設計法をそのまま適用すると，一般に照査を満足しない結果となる。しかし，前述のとおり実際に地震で著しい被害が生じた例はごく限定的であること，既設橋基礎の補強は多大なコストがかかる一方で東南海地震等の大規模地震の発生が逼迫しているとの予測があることから，落橋等の重大な被害に至る危険性をより的確に評価する手法の早急な開発が求められている。

既設橋の合理的な性能評価の一つの手段として，部分係数設計法を既設橋の性能評価にも適用していくことがある。例えば，既設橋の材料強度はコアの採取等により実際の強度を知ることができるため，新設橋の設計時のように材料強度の推定に関する不確実性を考慮する必要がない。部分係数設計法の導入に伴い，材料強度に関する不確実性に起因する安全余裕分を控除することもできるため，実橋の有する性能をより合理的に評価できることとなる。また，地盤

定数についても，推定精度の高い地盤調査を既設橋の位置で行うことで，より有利な部分係数を用いた性能評価が可能となる。

道路橋基礎の部分係数設計法の導入には，このような背景やねらいに対応することが求められ，具体的には次の観点の検討が挙げられる。

(a) 地盤条件・構造条件の違いによる信頼性のばらつきの改善

地盤条件や構造条件に応じた構造物の安全性のばらつきが改善されるようにするため，従来設計法を用いた場合に信頼性に大きな差が生じる要因を抽出して，推定式の見直しや部分係数の差別化を行っていく（後者は(b)と重複）。本研究でも取り上げる大きなばらつき要因として，軟弱粘性土における変形係数及び周面抵抗力の推定精度や，杭長が短い場合等における軸方向ばね定数の推定精度などがある。

(b) 施工法・地盤調査法の精度に応じた部分係数の差別化

精度の高い技術の適用を促進して構造物の信頼性向上に繋がるようにするため，各施工法や地盤調査法における推定式の推定精度を別々に評価したうえで，信頼性解析を行い，施工法別や地盤調査法別に異なる部分係数を設定していく。これにより，精度の高い技術を用いた場合に合理的な設計が可能となる。

(c) 既設橋の性能評価で求める照査項目・不確実性の明確化

構造物がまだ作られていない状況において様々な不確実性を考慮する必要がある新設橋に対する設計法と，既に構造物がある状態で安全性の評価を行う既設橋の性能評価法との設計（評価）条件の違いを考慮し，新設橋では求めるものの既設橋の評価では不要となる照査項目や不確実性要因を明確化して，既設橋の性能評価の合理化につなげていく。例えば，常時における照査の一部や，材料強度のばらつきに関する不確実性などがこれに当たる。

本研究は，上記の観点を踏まえて検討を行ったものである。

1.2 研究の概要と本書の構成

1.1 で述べた背景とねらいを踏まえ，本研究では道路橋杭基礎を対象として，性能規定に対応する設計体系や地盤条件・構造条件の違いに応じた部分係数設計法に関する検討を行った。本書の構成を以下に示す。

第 1 章では，設計の背景とねらい，研究の概要と本書の構成を示した。

第 2 章では，H24 道示における杭基礎の設計法の概要と課題を示すとともに，性能規定化の確立に対応する設計体系の提案を行った。

第 3 章では，杭基礎の安定照査および部材照査に関係し，部分係数の検討に用いる不確実性の評価を行った。

第 4 章では，地盤条件・構造条件の違いを考慮した，杭基礎の安定照査に関する部分係数の検討を行った。

第 5 章では，地盤条件・構造条件の違いを考慮した，杭体の部材照査に関する部分係数の検討を行った。

2. 道路橋杭基礎に求められる性能に基づく設計体系の提案

本章では，H24 道示における常時及びレベル 1 地震時等までの杭基礎の安定照査，部材照査の方法を概説するとともに，その意図や課題を明らかにした上で，道路橋杭基礎に求められる性能に基づく設計体系を提案する。

2.1 安定照査

2.1.1 H24 道示の設計法の概要

(1)H24 道示の設計法における照査項目

H24 道示 IV 編 9.2 に規定されるように，基礎は支持・転倒及び滑動に対して安定であるとともに，基礎の変位が許容変位以下となるように設計する。ただし，杭基礎は深い基礎であり，構造的に転倒が生じるものではないため，転倒に対する照査は不要である。また滑動についても，基礎底面の面積が小さいこと，杭本体の曲がりが生じることなどから，水平荷重に対して基礎底面の滑動抵抗が支配的となる構造ではないため，一般的には照査しない。以上から，杭基礎の安定照査としては，以下の照査が H24 道示 IV 編 12.1 に規定されている。

i) 各杭頭部の軸方向反力が，押込み支持力及び引抜き抵抗力以下であること。

ii) 杭基礎の変位が，許容変位以下であること。

i)は, H24 道示 IV 編 9.2 でいうところの支持の照査のうち, 鉛直方向の支持の照査であり，杭頭部に生じる杭の軸方向押込み力が地盤の許容押込み支持力以下となること，杭頭部に生じる杭の軸方向引抜き力が地盤の許容引抜き抵抗力以下となることを照査するものである。許容押込み支持力，許容引抜き抵抗力は，それぞれ極限支持力及び極限引抜き抵抗力に対して，表−2.1.1 に示す安全率を考慮した値として求められる。水平支持に関しては，ii)に示す水平変位の照査を満足することにより，満足するものとみなされる。

表−2.1.1 杭基礎の許容押込み支持力，許容引抜き抵抗力算出に用いる安全率

	許容押込み支持力*1		許容引抜き抵抗力
	支持杭	摩擦杭*2	
常時	3	4	6
レベル 1 地震時	2	3	3

＊1：極限支持力を載荷試験から求める場合には，表−2.1.1 に示す値を 1.2 で除した値を安全率としてよい。

＊2：支持杭と同等の安全性を有する摩擦杭は，支持杭の安全率を適用してよい。

ii)は, 基礎の変位に対する照査である。杭基礎に生じる変位としては, 沈下量, 引抜き量, 水平変位，回転角があるが，一般には，沈下量や引抜き量については i)の照査を満足することにより，制限されているものとみなされる。また，回転角については，水平変位に対す

る照査を満足することにより，制限されているものと考えられる。以上より，ii)の照査として行われるのは，水平変位の照査のみである。

水平変位の許容変位は表-2.1.2 に示す通りであり，原則として基礎幅の 1%である。ただし，基礎幅 5m を超える基礎の場合は 50mm，杭径が 1.5m 以下の杭基礎においては 15mm であり，常時の橋台基礎は 15mm である。また，橋脚基礎に既製杭を用いる場合のレベル 1 地震時（以下, L1 時）の照査において, 変位緩和を許容する場合には, 杭径の 3.5%（≦50mm）としてよいとされている。

中谷らは，地盤抵抗の塑性化から決まる弾性限界点と，部材抵抗の塑性化から決まる弾性限界点を区分して評価する検討を行い，前者については杭の水平変位が杭径の 5.7%に達した時を弾性限界点とみなせることを明らかにした [1,2]。この弾性限界点に対し，岡原らが提案した許容変位と同等の安全余裕を確保するように定めた値が杭径の 3.5%である [3]。ここで，対象が既製杭に限定されているのは，場所打ち杭の場合には，地盤抵抗の塑性化で降伏に達するものはなく，全ての載荷試験で部材の塑性化によって降伏に達したためである。

表-2.1.2　杭基礎の水平変位照査に用いる許容水平変位

躯体の種類	荷重状態	許容水平変位 (m)		
		B≦1.5*1	1.5<B≦5*1	B>5*1
橋脚	常時	0.015	0.01 B	0.05
	レベル 1 地震時*2			
橋台	常時	0.015		
	レベル 1 地震時	0.015	0.01 B	0.05

＊1：B は基礎幅(m)

＊2：変位緩和する場合は，0.035B (≦50mm)としてよい。

(2)H24 道示の設計法の照査意図

(1)に示したように，軸方向力に対する照査については極限支持力や極限引抜き抵抗力を，変位に対する照査については水平変位を指標とすることとされている。この意図については文献 [2]に詳しいが，概要は以下の通りである。

本文で対象とする常時・L1 時においては，橋は健全性を損なわない状態に留まることが求められ，橋を構成する各部材が健全性を損なわない状態に留まる場合には，橋は健全性を損なわないとみなすことができる。そして，基礎が健全性を損なわないとみなせるためには，安定については以下の 2 つの事項が必要であるとされている。

①一定の信頼性をもって安全な状態を超えないこと

②基礎を支持する地盤の力学特性に大きな変化が生じていないこと

①は，地盤抵抗が低下することのない状態に留めることと解釈され，極限支持力や極限抵抗力に代表されるような最大強度点に対して一定の信頼性をもって超えないことが該当する。②は，地盤抵抗が可逆性を有する範囲に留めることであり，降伏支持力や降伏抵抗力に代表されるような弾性限界点に対して一定の信頼性をもって超えないことが該当する。これに照らして現行の設計法を確認すると，軸方向力については極限支持力，極限引抜き抵抗力を指標として照査しており，①に該当する照査を行っている一方で，②に対する直接的な照査ではない。また，許容水平変位は，地盤抵抗の塑性化，部材抵抗の塑性化によって弾性限界点を超えないようにするという意図があり，前者は許容変位の照査，後者は部材照査によって担保されている。許容変位の照査とは別に部材照査を行うことを踏まえ，許容変位は地盤の塑性化にのみ着目した限界点に基づいて定められている。(1)に示したように杭径の 5%という弾性限界点に対して安全余裕を確保したものであることから，②に該当する照査を行っている一方で，①に対する照査は行っていない。これは，基礎の安定に関する地盤抵抗については多くの場合，弾性限界点と最大強度点の間に定量的な関係があるとみなせるため，どちらか一方の照査を満足することでもう一方の照査も満足すると考えられるためであったと考えられる。

(3)H24 道示の設計法の課題

(2)に示したように，従来の設計法では最大強度点に対する照査を満足することで可逆性も担保できるという考え方と解釈できるが，このような照査では，可逆性を有する範囲に留めるという照査意図が陽に示されておらず，より明確な照査体系とするのが望ましい。

また，常時と L1 時で安全率や許容値を変えているが，これは作用力の発生頻度等を考慮して差別化されたものであると考えられる。しかし，例えば直接基礎の常時の支持の照査においては，杭基礎と同様に極限支持力に対して安全率を確保することで弾性限界点及び最大強度点に達しないようにすることに加えて，地盤反力度の制限値の照査も行っている。これは，常時において生じる変位を抑制するものであり，弾性限界点や最大強度点に達しないこととは別の意図を有する照査である。杭基礎においても，常時，すなわち永続的に作用する荷重に対しては，基礎に生じる変位を抑制する必要があり，この意図を明確にした照査体系とすることが望ましい。

2.1.2　従来の設計法の課題を踏まえた設計体系の提案

杭基礎の安定照査は，2.1.1(3)に示した課題を踏まえると，可逆性や破壊に対する安全性を担保するための照査，すなわち耐荷性能に関する照査と，基礎の変位を抑制するための照査を明確に区分することがよいと考えられる（表-2.1.3）。

H24 道示で設計された基礎が，一部の例外を除き，安定に関する不具合が確認されていないことを鑑みれば，具体的な照査は，基本的には H24 道示と同等の設計結果が得られる照査とするのがよいと考えられる。したがって，杭基礎の変位の制限の照査は H24 道示の常

時の照査，耐荷性能に関する照査は H24 道示の L1 時の照査と同等とすればよい。ただし，耐荷性能に関する照査は，可逆性の確保を目的とした照査であることを明確にするためには，極限支持力や極限引抜き抵抗力のような最大強度点ではなく，降伏支持力や降伏引抜き抵抗力のように弾性限界点に対する照査とするのがよいと考えられる。なお，最大強度点に対する照査は，文献[4]より最大強度点と弾性限界点が定量的な関係（降伏支持力＝0.63×極限支持力）にあることが確認されていることから，弾性限界点に対する照査を満足することで，満足しているとみなすことができる。

表-2.1.3　杭基礎の安定照査に関する設計体系の提案

照査	照査内容	照査項目
杭基礎の変位の制限に関する照査	永続的に作用する荷重によって生じる変位を抑制するための照査と位置づけ，変位を抑制するための制限値を定め，これを超えないことを照査する。	・沈下量 ・引抜き量 ・水平変位
耐荷性能に関する照査	基礎の応答の可逆性を確保するための照査と位置づけ，地盤抵抗の弾性限界点に対して所要の安全余裕度を確保した制限値を定め，これを超えないことを照査する。 安全性を確保するための照査を追加	・押込み支持力 ・引抜き抵抗力 ・水平抵抗力

2.2 部材照査

2.2.1 H24 道示の設計法の概要

(1)H24 道示の設計法における照査項目

H24 道示 IV 編 12.9.1 に規定されるように，杭体各部は軸力，曲げモーメント及びせん断力に対して安全であるように設計する。具体的には，躯体等の部材と同様に，杭に生じる応力度が許容応力度以下となることを照査する。許容応力度は材料ごと，発生応力度ごと，荷重の組合せごとに定められており，道示で規定される鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭，場所打ち杭，PHC 杭，SC 杭の許容応力度は以下の通りである。

i)鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭

鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭として用いられる鋼管は JIS A 5525 に示される SKK400 又は SKK490 であり，これらの常時における許容応力度は表−2.2.1 に示す通りである。表−2.2.1 に示すように，鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭については，軸力及び曲げモーメントによって生じる引張応力度，圧縮応力度，せん断力によって生じるせん断応力度に対して，許容応力度が規定されている。

表−2.2.1 に示す許容応力度は，表−2.2.2 に示すそれぞれの鋼管の降伏点又は耐力の下限値を安全率で除した値である。引張りや圧縮の許容応力度の安全率は他の鋼部材と同じ 1.7 であり，荷重の推定精度，応力度の算定誤差，材料の不均質性等，設計に関する様々な不確実性を考慮して経験的に定められたものである [5)]。また，せん断の許容応力度は，降伏点又は耐力に対し，引張りや圧縮の安全率 1.7 に加えて，von Mises の降伏条件$\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$を適用して定められたものである [6)]。いずれの許容応力度についても，降伏点又は耐力を安全率で除すことにより，死荷重や活荷重，土圧等の供用期間中に永続的に作用する荷重に対して，部材の塑性化や破壊が生じないようにするとともに，過度な変形やひずみが生じないようにしているものと考えられる。H24 道示では，常時荷重として活荷重も含まれていたことも含めて，杭に生じる応力度を上記の許容応力度に留めることで，活荷重の繰返しの影響に対しても，疲労による部材の塑性化や破壊，過度な変形やひずみが生じないことが実質的に担保されていたものと考えられる。

他の材料と同様に，上記の常時の許容応力度を基本として，荷重の組合せに応じた割り増しが考慮される。この割り増しは，それぞれの荷重組合せの発生頻度や下部構造に与える影響に応じて規定されたものである。なお，最も大きい割増係数である 1.5 の場合においても可逆性や安全性に対して一定の安全余裕が確保されている。

なお，鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭については，腐食に対しても考慮する必要があるが，これに対しては，H24 道示 IV では，許容応力度による照査ではなく，構造細目として鋼管に腐食しろを考慮することで対応している。また，鋼部材である鋼管に対しては，軸力によって座屈が生じるおそれがあるが，杭は全長が地中に埋め込まれているために側面の地盤が座屈を拘束すると考えられるため，一般には照査は不要とされている。

表−2.2.1　鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭の許容応力度一覧（N/mm^2）

杭材	引張応力度	圧縮応力度	せん断応力度
SKK400	140	140	80
SKK490	185	185	105

表−2.2.2　SKK400, SKK490 の機械的性質一覧（N/mm^2）

杭材	引張強さ	降伏点又は耐力
SKK400	400 以上	235 以上
SKK490	490 以上	315 以上

ii)場所打ち杭

場所打ち杭の常時の許容応力度は，表−2.2.3 に示す通りである。表−2.2.3 に示す許容応力度は割増係数を乗じていない値であり，実際の照査においては荷重の組合せに応じた割増係数が乗じられる。

表−2.2.3　H24 道示における場所打ち杭の設計に用いる許容応力度

(a)コンクリートの許容応力度（N/mm^2）

コンクリートの呼び強度		30	36	40
水中コンクリートの設計基準強度（σ_{ck}）		24	27	30
圧縮応力度	曲げ圧縮応力度	8.0	9.0	10.0
	軸圧縮応力度	6.5	7.5	8.5
せん断応力度	コンクリートのみでせん断力を負担する場合（τ_{a1}）	0.23	0.24	0.25
	斜引張鉄筋と共同して負担する場合（τ_{a2}）	1.7	1.8	1.9
付着応力度（異形棒鋼）		1.2	1.3	1.4

(b)鉄筋の許容応力度（N/mm^2）

応力度，部材の種類 ＼ 鉄筋の種類			SD 345	SD 390	SD 490
引張応力度	1) 活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合（はり部材等）		100		
	荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含まない場合の基本値	2) 一般の部材	180		
		3) 水中又は地下水位以下に設ける部材	160		
	荷重の組合せに衝突荷重又は地震の影響を含む場合の基本値	4) 軸方向鉄筋	200	230	290
		5) 上記以外	200		
	6) 鉄筋の重ね継手長又は定着長を算出する場合の基本値		200	230	290
7) 圧縮応力度			200	230	290

①コンクリートの許容応力度

場所打ち杭のコンクリートは水中コンクリートであるため，気中コンクリートに比べて強度のばらつきが大きいことなどを考慮して，標準養生した供試体の圧縮強度と実際に施工した場所打ち杭のコアの圧縮強度との関係に基づき，呼び強度と設計基準強度の関係が規定された上で，押抜きせん断の許容応力度を除き，気中の部材と同じ許容応力度が規定されている。

圧縮応力度の許容応力度の値は道示 III に規定されている値と等しく，曲げ圧縮応力度は設計基準強度に対して 3 の安全率を確保し，軸圧縮応力度は設計基準強度の 85%に対して 3

の安全率を確保するものとして定められたものである[6]。軸圧縮応力度の許容応力度について，設計基準強度を 85%に減じている理由は，曲げ圧縮応力度が部材の中央や端部などの特定の限定された位置に生じるのに対し，軸圧縮応力度は部材全体にわたって一様に生じるという相違点が考慮されたものである[5]。

せん断の許容応力度は，下部構造を構成する部材等の特徴を考慮して，下部構造編にて独自に定められたものである。せん断力をコンクリートのみで負担する場合と，斜め引張鉄筋と共同して負担する場合で異なる値となっている。

コンクリートのみで負担する場合の許容せん断応力度 τ_{a1} は，表−2.2.4 に示すコンクリートが負担できる平均せん断応力度 τ_c に対して，1.5 の安全率が考慮されたものである。この安全率は，せん断補強鉄筋が少ない下部構造において，長期持続荷重に対してせん断ひび割れを生じさせないことを目的として定められたものである[7]。なお，この許容応力度に対しては，地震の影響を考慮する場合には，割増係数を乗じた値とせず，表−2.2.4 に示すコンクリートが負担できる平均せん断応力度 τ_c を地震時の許容応力度としている。

鉄筋コンクリート部材においては，鉄筋が過度に配筋されることにより，斜引張破壊に先行して斜圧縮破壊が生じることがある。斜引張鉄筋と共同して負担する場合の許容せん断応力度 τ_{a2} は，このような破壊を生じさせないために規定されたものであり，最大鉄筋量の規定と合わせ，ある程度の部材断面を確保し，コンクリートに一定のせん断力を負担させる構造とすることも考慮されている。

付着の許容応力度については，掘削孔内の泥水の影響を考慮して，気中部材の値よりも小さな値とされている。なお，気中部材に対する付着の許容応力度の値は，道示 III の値に等しい。

表−2.2.4　コンクリートが負担できる平均せん断応力度（N/mm²）

コンクリートの設計基準強度 σ_{ck}	21	24	27	30
コンクリートが負担できる平均せん断応力度 τ_c	0.33	0.35	0.36	0.37

②鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度は，基本的に道示 III と同じ値が規定されている。

引張応力度のうち，活荷重及び衝撃以外の主荷重が作用する場合に適用される許容応力度は，有害なひび割れ（幅 0.2mm 以下）を生じさせず，内部鋼材の腐食を防止するという，耐久性の観点から定められたものである。なお，この照査は，気中にあって常に引張りを受ける部材にのみ適用されるものであり，水中や土中にある部材については，かぶりを大きくとっていることなどの理由により，この照査を満足する必要はない。

引張応力度のうち，荷重の組合せに衝突荷重や地震の影響を含まない場合の基本値は，荷重の繰返し載荷によってコンクリートのひび割れが拡大しないようにすることなどを目的として定められたものであり[6]，疲労による損傷を防止するという耐久性の観点から定め

られたものである。一般の部材と水中又は地下水位以下に設けられる部材で異なる値が規定されている。前者は道示 III と同じ値であるが，後者は水中又は地下水位以下等の場合には，鉄筋が腐食しやすい環境にあること[9]などを考慮して，一般の部材よりもやや小さい値とされている。

引張応力度のうち，荷重の組合せに衝突荷重や地震の影響を含む場合の基本値は，鉄筋の降伏強度に対して 1.7 以上の安全率を確保するように定められたものである。これは，作用する荷重が比較的短期間であることから，上記のようなコンクリートのひび割れを防止するという耐久性の観点から定められたものではなく，部材の応答の可逆性を担保することを目的として規定された値である。なお，この基本値は，軸方向鉄筋とそれ以外の鉄筋で異なっている。軸方向鉄筋においては SD390 や SD490 を用いた供試体に対する載荷試験で得られた知見[8]も考慮して定められている。また，重ね継手長又は定着長を算出する場合の基本値や圧縮応力度の基準値も，荷重の組合せに衝突荷重や地震の影響を含む場合の基本値（軸方向鉄筋）と同じ値とされている。

iii）PHC 杭

PHC 杭の常時の許容応力度は，表−2.2.5 に示す通りである。表−2.2.5 に示す許容応力度は割増係数を乗じていない値であり，実際の照査においては荷重の組合せに応じた割増係数が乗じられる。なお，地震の影響を考慮するときの曲げ引張応力度は表−2.2.6 を用いることが規定されている。

・コンクリートの許容応力度

PHC 杭のコンクリートは，工場で遠心力成形により製造されるため，道示 III に規定されるコンクリートと強度特性が異なる。そのため，許容応力度は道示 IV にて別途規定している。

曲げ圧縮応力度は設計基準強度に対して 3 の安全率を確保し，軸圧縮応力度は設計基準強度の 85%に対して 3 の安全率を確保するものとして定められたものである。これは場所打ち杭のコンクリートの曲げ圧縮応力度および軸圧縮応力度の許容応力度の考え方と同じである。

常時の曲げ引張応力度は，コンクリートにひび割れが生じないように 0 として規定されているが，地震の影響を考慮する場合は表−2.2.6 に示す値により，単純曲げによる破壊安全度が 2 以上を確保されるように定められている[9]。また，コンクリートの有効プレストレスによって破壊安全度に差があるので，有効プレストレスに応じて規定している。

せん断応力度は，せん断耐力試験の結果[10]から PHC 杭のコンクリートの設計基準強度で補正した値が規定されている。なお，部材の有効高の影響および軸方向引張鉄筋比の影響による補正は行わないこととしている。

・PC 鋼材の許容応力度

PHC 杭に用いる JIS G 3137 細径異形 PC 鋼棒 D 種 1 号（SBPD1275/1420）の PC 鋼材の引張応力度は道示 III に規定されていないため，$0.6\sigma_{pu}$ または $0.75\sigma_{py}$ のうちいずれか小さい値として，道示 IV に規定されている。なお，PC 鋼材に関する種々の試算した結果から，コンクリートの曲げ引張応力度を表−2.2.6 以下に抑えた場合には，PC 鋼材に生じる引張応力度はごく小さいことが確認されている [9] ことから, PC 鋼材に生じる引張応力度については，照査を省略している。

表−2.2.5　PHC 杭の許容応力度一覧（N/mm²）

コンクリート					PC 鋼材
設計基準強度	曲げ圧縮応力度	軸圧縮応力度	曲げ引張応力度	せん断応力度	引張応力度
80	27	23	0	0.85	855

表−2.2.6　地震の影響を考慮するときの許容曲げ引張応力度（N/mm²）

有効プレストレス σ_{ce}	$3.9 \leqq \sigma_{ce} < 7.8$	$7.8 \leqq \sigma_{ce}$
曲げ引張応力度	3.0	5.0

iv）SC 杭

SC 杭は高強度コンクリートと鋼管の複合杭で，常時のコンクリートの許容応力度は，表−2.2.7 に示す通りである。表−2.2.7 に示す許容応力度は割増係数を乗じていない値であり，実際の照査においては荷重の組合せに応じた割増係数が乗じられる。

・コンクリートの許容応力度

SC 杭に用いるコンクリートは PHC 杭に用いるものと同等であるため，SC 杭のコンクリートの許容応力度は PHC 杭と同じ値として規定されている。

・鋼管の許容応力度

SC 杭に用いられる鋼管は JIS A 5525 に示される SKK400 又は SKK490 であり，これらの常時における許容応力度は表−2.2.1 に示す通りである。鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭と同様に，軸力及び曲げモーメントによって生じる引張応力度，圧縮応力度，せん断力によって生じるせん断応力度に対して，許容応力度が規定されている。

表−2.2.7　SC 杭のコンクリートの許容応力度一覧（N/mm²）

設計基準強度	曲げ圧縮応力度	軸圧縮応力度	せん断応力度
80	27	23	0.85

(2)従来の設計法の照査意図と課題

(1)に示したように，H24 道示 IV の部材に対する設計に用いる許容応力度は，疲労や腐食の防止，変形やひずみの増加，部材抵抗の可逆性や破壊に対する安全性の担保などの観点から定められていた。しかし，耐荷性能に関する照査と耐久性能に関する照査が明確に区分されていないなど，照査意図が必ずしも明確に反映されたものとはなっていない。また，今後の技術開発により，多様な材料や構造が提案されることを想定すると，材料の応力度を指標とした照査体系よりも，様々な材料が組み合わされた部材単位での照査体系の方が望ましい。さらに，許容応力度に関する割増係数は荷重の発生頻度を考慮したものであるが，荷重の不確実性を抵抗側で考慮することに十分な説明性があるとはいえない。

2.2.2 従来の設計法の課題を踏まえた設計体系の提案

2.2.1(2)に示したように，H24 道示の照査は意図が必ずしも明確に反映されたものではないため，①可逆性や破壊に対する安全性を確保するための照査，すなわち耐荷性能に関する照査，②疲労や腐食に対する耐久性を確保するための照査，すなわち耐久性能に関する照査，③①及び②以外の目的で応力やひずみを一定の値以下とするための照査に区分することがよいと考えられる。安定照査と同様に，基本的には H24 道示で設計された基礎において不具合が生じた例は確認されていないことから，照査項目や照査値は H24 道示の照査と同等にするのがよい。なお，H24 道示における許容応力度の割り増しは，荷重の影響も考慮して定められたものであることから，本文では言及しない。

以下に，各杭の照査体系の提案について詳細を示す。

(1)鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭

耐荷性能に関する照査として，永続的に発生する荷重を受ける状況やレベル 1 地震動などの変動的な荷重を受ける状況において鋼管に生じる応力度を制限する。この応力度は，H24 道示における地震時の許容応力度相当とし，軸力及び曲げモーメントに対しては弾性限界点に達しないこと，せん断力に対しては最大強度点に達しないことを照査する。また，永続的に発生する荷重に対して，応力やひずみを一定の値とするため，H24 道示における常時の許容応力度相当に制限する。

疲労に対する照査として，死荷重や活荷重等の日常的に発生する応力やひずみレベルを抑制するため，鋼管に生じる応力度を制限する。制限する応力度の値は，H24 道示における常時の許容応力度相当とする。

鋼材の腐食を防ぐため，所定の最小板厚や腐食しろを確保する。鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭は上部構造に用いられる鋼部材と異なり地中に位置するため，応力振幅の影響を受けにくい一方で，補修が容易でない。したがって，従来と同様に，最小板厚や腐食しろの構造細目を設けるのがよいと考えられる。

(2)場所打ち杭

従来からせん断力を受ける下部構造には，ウェブコンクリートの圧壊を防ぐことを目的として，下部構造特有の配筋傾向を考慮したうえで，コンクリートと斜引張鉄筋が共同して抵抗する場合の許容せん断応力度が設けられていた。この応力度に制限された場所打ち杭において，不具合が生じた事例が確認されていないことから，耐荷性能に関する照査の前提として，今後も同程度のせん断応力度に制御するための照査を行う。

耐荷性能に関する照査として，永続的に発生する荷重を受ける状況やレベル 1 地震動などの変動的な荷重を受ける状況において生じる断面力に対して，弾性限界点及び最大強度点に達しないことを照査する。なお，2.2.1(2)に示したように，材料レベルではなく，部材単位での照査の方が望ましいことから，耐荷性能に関する照査は鉄筋やコンクリートの応力度の照査ではなく，鉄筋コンクリート部材の降伏曲げモーメント，終局曲げモーメント，せん断耐力に対する照査とする。

内部鋼材の腐食を防ぐため，鉄筋は所定の最小かぶりを確保する。これにより鉄筋の腐食を防ぐ。なお，場所打ち杭は，地中部であることによる維持管理の困難さ，コンクリートの締固めの困難さ，鉄筋かごの建込み等の施工性や施工精度を考慮して，H24 道示と同様に一般の部材より厚い最小かぶりを確保する。

疲労に対する照査として，死荷重や活荷重等の日常的に発生する応力を制限する。制限する応力度の値は，H24 道示における常時の許容応力度相当とする。なお，一般に場所打ち杭は，一般に地下水以下に設けられるため，維持管理が容易でないことを考慮して通常の部材よりも小さい応力度に制限する。

(3)PHC 杭

耐荷性能に関する照査として，永続的に発生する荷重を受ける状況やレベル 1 地震動などの変動的な荷重を受ける状況において生じる断面力に対して，弾性限界点及び最大強度点に達しないことを照査する。ただし，プレストレストコンクリート構造は，部材全体が弾性挙動する限界の状態に相当するコンクリートの応力状態やPC鋼材の応力状態を定めることは困難であることから，全断面が有効として抵抗する応力状態に制限することとする。制限する応力度の値は，H24 道示におけるレベル 1 地震動に対する許容応力度に相当し，部材が弾性限界点に達しないことを照査する。

内部鋼材の腐食を防ぐため，鋼材は所定の最小かぶりを確保する。これにより鉄筋の腐食を防ぐ。また，疲労に対する照査として，死荷重や活荷重等の日常的に発生する応力を制限する。制限する応力度の値は H24 道示における常時の許容応力度相当とする。

(4)SC 杭

疲労及び鋼材の腐食に対しては，鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭に準じることとする。ただし，内部のコンクリートに対しては，死荷重や活荷重等の日常的に発生する応力を制限する。制限する応力度の値は，H24 道示における常時の許容応力度相当とする。

耐荷性能に関する照査として，鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭と同様の照査に加えて，永続的に発生する荷重を受ける状況やレベル 1 地震動などの変動的な荷重を受ける状況において生じる断面力に対して，軸圧縮応力度及び曲げ圧縮応力度を制限する。制限する応力度の値は, H24 道示におけるレベル 1 地震動に対する許容応力度相当とする。

【参考文献】

1) 中谷 昌一, 白戸 真大, 井落 久貴, 野村 朋之：性能規定化における杭基礎の安定照査に関する研究, 土木研究所資料, 第 4036 号, 2007. 1.
2) 中谷昌一, 白戸真大, 河野哲也, 中村祐二, 野村朋之, 横幕清, 井落久貴: 性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究, 土木研究所資料第 4136 号, 2009.
3) 岡原美知夫, 高木章次, 中谷昌一, 木村嘉富: 単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究, 土木研究所資料, 第 2919 号, 1991.1.
4) 宇都一馬, 冬木衛, 桜井学 : 杭の載荷試験結果の整理方法, 基礎工, Vol.10, No.9, pp. 21-30, 1982. 9.
5) 浅沼秀弥, 和田克哉：下部構造特集号設計一般, 橋梁と基礎, Vol. 14, No. 8, pp. 34-38, 1980.8.
6)（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III　コンクリート橋編, 2012.3.
7)（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV　下部構造編, 1996.12.
8)（独）土木研究所,（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会,（社）コンクリートパイル建設技術協会：杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する共同研究報告書（杭頭結合部に関する研究）, 共同研究報告書, 第 433 号, 2012. 3.
9) 橋梁委員会：道路橋下部構造設計指針（クイ基礎の設計編）追補「PC グイの設計」について, 橋梁と基礎, Vol. 1, No. 7, pp.28-31, 1967.
10) 河野広隆, 渡辺博志, 菊森佳幹：大型ＲＣはり供試体のせん断強度に関するデータ集, 土木研究所資料, 第 3426 号, 1996. 1.

3. 杭基礎の安定照査及び部材照査に関係する不確実性の評価

本章では，杭基礎の安定照査および部材照査に関係する不確実性の評価を行う。ここでは，抵抗側に関係する不確実性，具体的には抵抗値や応答値の算出に関係する部材や地盤の特性に関する不確実性を検討対象として扱い，荷重の不確実性は検討の対象外とする。本研究では，地盤条件・構造条件といった抵抗側に関する条件の不確実性の違いを明らかにした上で，同等の信頼性が確保される条件別の部分係数を提案することを目的としているからである。このため，荷重は確定値として扱っている。

3.1 不確実性の評価の方法

本研究で行った，杭基礎の安定照査および部材照査に関係する不確実性の評価から部分係数の計算までの検討フローを図-3.1.1 に示す。

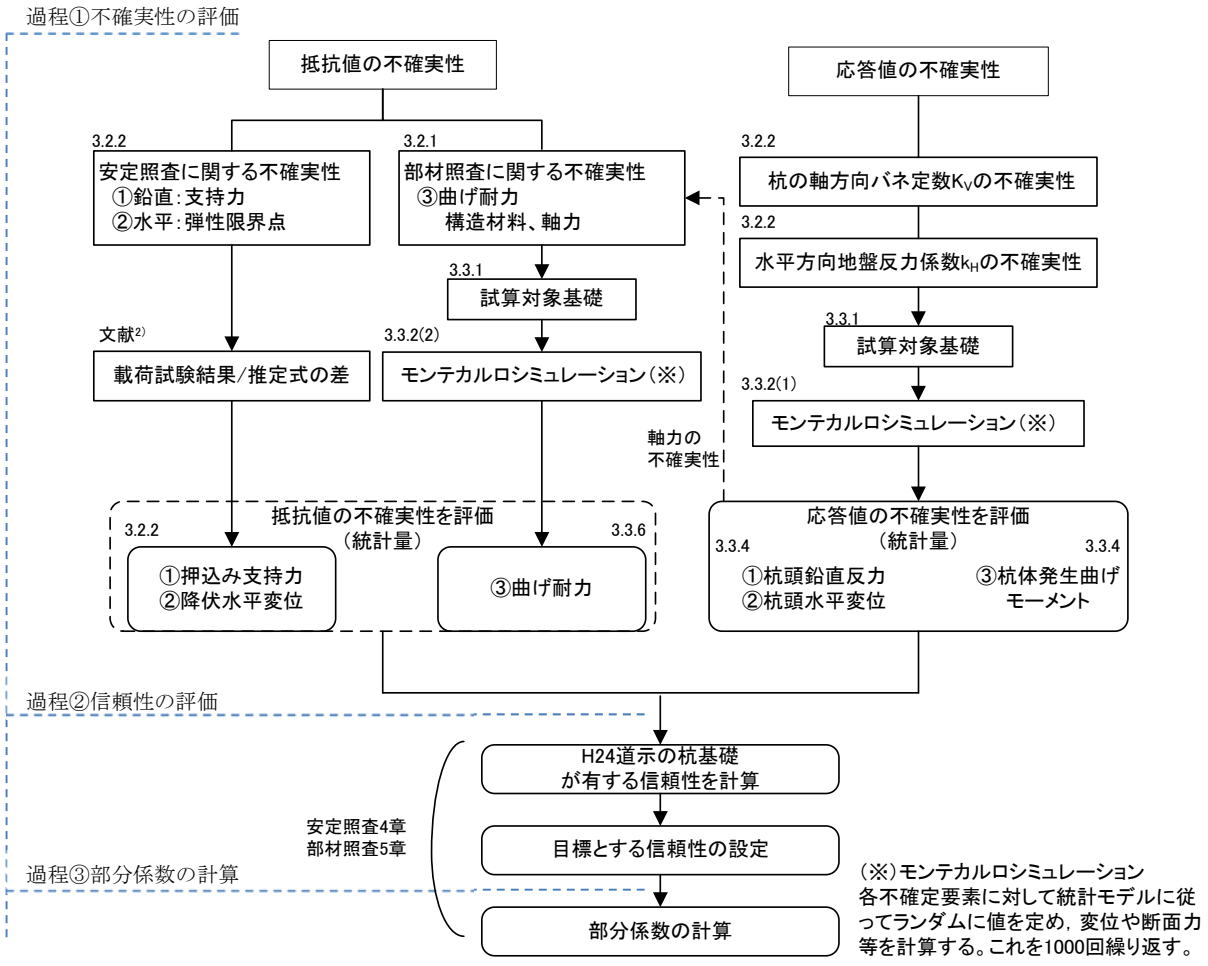


図-3.1.1　抵抗側の不確実性に関する部分係数の検討フロー

図-3.1.1 に示したフローは，大きく分けて以下の 3 つの過程に区分できる。

過程①不確実性の評価：それぞれの照査に関係する不確実性を評価する。

過程②信頼性の評価：従来の基準で設計された杭基礎の信頼性を評価した上で，杭基礎が有すべき信頼性を定める。

過程③部分係数の計算：①および②の結果に基づき，杭基礎の安定照査および部材照査に関する部分係数を計算する。

本節では，上記の 3 つの過程について概要を示すこととし，3.2 以降でそれぞれの過程についての検討結果を示す。応答値（杭頭鉛直反力，杭頭水平変位，杭体発生曲げモーメント）の不確実性及び部材照査における抵抗値（曲げ耐力）の不確実性については，試設計橋梁に対するモンテカルロシミュレーションにより評価する。モンテカルロシミュレーションの具体的な方法については，3.2.2 に示す。安定照査における抵抗値の不確実性（押込み支持力，降伏水平変位）については，既往の研究結果[1)2)]から不確実性を設定している。

本検討では，目標とする信頼性として，従来の道路橋示方書におけるレベル 1 地震時の照査に基づき設計された杭基礎の信頼性を用いることとした。これは，別途部分係数の検討を行うレベル 2 地震時の照査により決まるケースを除けば，一般にレベル 1 地震時の照査が杭基礎の構造が定まる決定的なケースであること[3)]，このような設計法に基づき構築された杭基礎について，過去に特段の不具合が確認されていないことが理由である。そのために，まずは H24 道示により設計された杭基礎の信頼性の評価を行った。H24 道示により設計された杭基礎の信頼性指標 β を求める方法については，例えば文献[4)]等に詳しいが，以下に概要を示す。

耐荷性能に関する照査は，作用によって生じる応答が，抵抗を上回らないようにするものである。また，地盤抵抗の不確実性は対数正規分布として近似できることを踏まえると，性能関数 G は式(3.1.1)のようにあらわすことができる。

$$G = \ln(R) - \ln(P) = \ln(R/P) \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

ここに，R：抵抗，P：応答である。

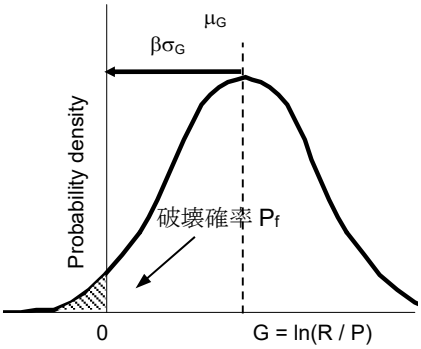
また，$\ln(R)$と $\ln(P)$がそれぞれ $N(\mu_{\ln(R)}, \sigma_{\ln(R)})$，$N(\mu_{\ln(P)}, \sigma_{\ln(P)})$なる正規確率変数と仮定すると，性能関数 G は，

$$N(\mu_G,\sigma_G)=N\left(\mu_{\ln(R)}-\mu_{\ln(P)},\sqrt{(\sigma_{\ln(R)}{}^2+\sigma_{\ln(P)}{}^2}\right) \quad \cdots\cdots(3.1.2)$$

なる正規確率変数となる。

図−3.1.2 は，性能関数 G の分布の概念図である。図−3.1.2 において，$G>0$ となれば，抵抗は応答よりも大きいことになり，厳密に最適化（応答値に対して抵抗値の余裕がない仕様に設計）された杭基礎は $G \fallingdotseq 0$ ということになる。そして，$G<0$ となると，応答が抵抗を上回ることになる。設計においては，一定の信頼性をもって性能を確保する必要があるため，G の平均値μ_G に対して，G の不確実性（標準偏差σ_G）を考慮する。この安全余裕度が β であり，次式(3.1.3)で求められる。

$$\beta=\mu_G/\sigma_G \quad \cdots\cdots(3.1.3)$$



図−3.1.2　性能関数 G の概念図

β が求められると，式(3.1.4)により部分係数を求めることができる。すなわち，H24 道示により設計された杭基礎の信頼性指標 β は，式(3.1.4)の $\beta^R{}_T$ を未知数とし，部分係数として H24 道示の設計法の安全率の逆数を代入することで求められる。そして，信頼性指標 β を参考に，目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 $\beta^R{}_T$ を定めると，$\beta^R{}_T$ に対応する部分係数を求めることができる。本検討で設定した $\beta^R{}_T$ は，本章の冒頭でも述べたように，荷重を確定値として扱っているため，抵抗側のみの不確実性を考慮した信頼性指標 β から算出している。そこで，橋全体の性能を示す目標信頼性指標 β_T との区別を明確にするため，本研究では目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 $\beta^R{}_T$ と表記する。

$$\Phi = \frac{\mu_r P\sqrt{\left(1+COV_P^2\right)/\left(1+COV_R^2\right)}}{\overline{P}\exp\left\{\beta_T^R\sqrt{\ln\left(1+COV_P^2\right)\left(1+COV_R^2\right)}\right\}} \qquad \cdots\cdots\cdots(3.1.4)$$

ここに，

Φ　：　杭基礎の抵抗に関する部分係数

μ_r　：　抵抗値の変化率の平均値

P　：　応答値

COV_p　：　応答値の変動係数

COV_R　：　抵抗値の変動係数

$\overline{P}$　：　応答値の平均値

$\beta^R{}_T$　：　目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標

3.2　部材・地盤の抵抗特性に関する不確実性の統計量

本節では，モンテカルロシミュレーションにおいて考慮する不確実性（バイアスと変動係数）の統計量を示す。図-3.2.1 に，本検討で考慮する杭基礎の抵抗に関する不確実性を整理した。具体的には，応答値を算出する過程に含まれる不確実性として，杭の軸方向ばね定数 K_V 及び水平方向地盤反力係数 k_H，抵抗値の評価に直接関係する不確実性として，材料強度及びヤング係数，曲げ耐力がある。なお，曲げ耐力においては軸力の不確実性を考慮した。

応答値に影響する不確実性として杭とフーチングの結合度（回転剛性）や杭の曲げ剛性，抵抗値に影響する不確実性として抵抗力推定式（評価式）のモデル誤差等が上記のほかに考えられるが，本検討においては，計算結果への影響等を踏まえた上で確定値として扱っている。

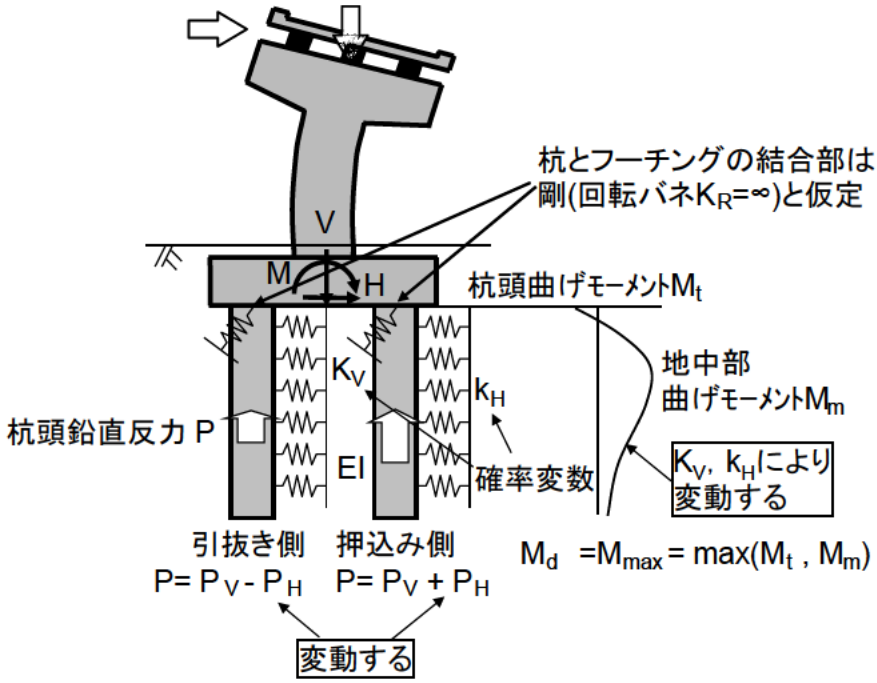


図-3.2.1　本検討で考慮する杭基礎の抵抗に関する不確実性

3.2.1　部材の強度・変形特性に関する不確実性

①　特性値

杭体の曲げ耐力は表-3.2.1 に示す定義に基づき算出する。このとき，軸力は荷重を作用させたときに杭頭に生じる軸力を用いて算出する。なお，引抜き力が生じる場合の軸力については，地盤が良好な場合に引張軸力を低減することができるが（H24 道 IV 編 12.9.1），不確実性を定量的に評価する方法がないことから，本検討では低減はさせず軸力は地中部においても一定とした。

場所打ち杭については，発生断面力が降伏曲げモーメントを超えないことで，弾性限界点に対する照査を行う。降伏曲げモーメントは，鉄筋の引張応力度が降伏強度に達するとき，又は，コンクリートに残留ひずみを生じさせない観点から，コンクリートの圧縮応力度が設計基準強度の 2/3 に達するときの抵抗曲げモーメントとする。

また，大きな軸力を受ける PHC 杭及び SC 杭の場合には，鋼材の降伏のみで降伏曲げモーメントを算出すると，計算が収束せず，軸力がつりあう中立軸を求めることができない場合がある。このため，COPITA 技術資料[4)]を参考に，アンダーライン(__)で示す状態に達するときも降伏の定義に加えた。

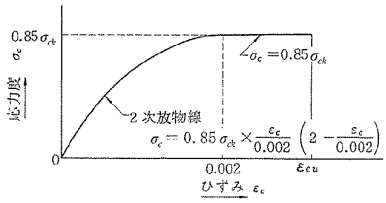
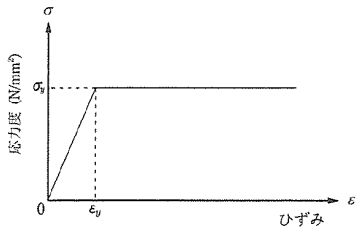
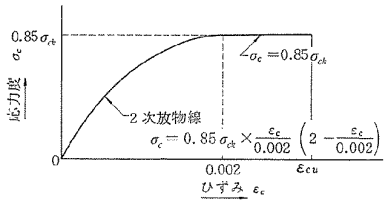
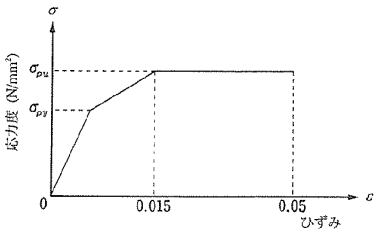
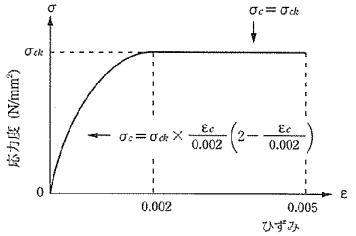
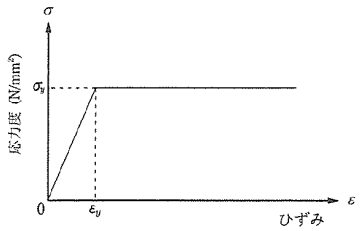
鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭の照査は，弾性限界点と最大強度点の関係を定量的に表すことができるため，弾性限界点の照査のみ検討の対象としている。

降伏曲げモーメント，終局曲げモーメントを算出するために用いる鋼材及びコンクリートの応力－ひずみ関係は，表-3.2.2 に示すものを用いる。

表-3.2.1　強度点の定義

杭　種	弾性限界点の定義 （降伏曲げモーメント，降伏強度）	最大強度点の定義 （終局曲げモーメント）
場所打ち杭	最外縁の鉄筋の引張応力度が降伏強度に達するとき，又はコンクリートの圧縮応力度が設計基準強度の 2/3 に達するとき	圧縮側の最外縁のコンクリートのひずみが終局ひずみに達するとき
PHC 杭	最外縁の PC 鋼材の応力度が降伏に達するとき，又は圧縮縁においてコンクリートの応力度が設計基準強度の 0.85 倍に達するとき	圧縮側の最外縁のコンクリートのひずみが終局ひずみに達するとき，又は PC 鋼材のひずみが 5%に達するとき
SC 杭	鋼管の応力度（引張又は圧縮）が降伏に達するとき，又は圧縮側の最外縁のコンクリートの応力度が設計基準強度に達するとき	圧縮側の最外縁のコンクリートのひずみが終局ひずみに達するとき
鋼管杭 鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭	鋼管の応力度（引張又は圧縮）が降伏に達するとき	－

表-3.2.2　応力度－ひずみ関係

	コンクリート	鋼　材
場所打ち杭		 鉄筋
PHC 杭		 PC 鋼材
SC 杭		 鋼管
鋼管杭 鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭	―	―

② 不確実性の統計量

杭体の構造材料等の特性値及びそれらの不確実性（実測値／公称値）の統計量は，表−3.2.3～表−3.2.6 に示すとおりである。確率分布は正規分布とする。本検討においては，道示 II や III の鋼部材やコンクリート部材に関する検討に倣い，材料強度とヤング係数は独立として扱い，各々の平均値は 1.0 とし（表中灰色ハッチング箇所），鋼材のヤング係数は確定値とする（表中水色ハッチング箇所）。また，本検討では，弾性範囲内の挙動を対象にしているため，杭体の剛性は線形とする。

なお，表−3.2.3～表−3.2.6 に示す杭体の剛性に関する不確実性は，抵抗値の算出においてのみ考慮する。応答値の算出においては，算出結果に与える影響が小さいことから，杭体の剛性を確定値として取り扱う。また，降伏曲げモーメント及び終局曲げモーメントの算定式の不確実性についても，部分係数の検討に与える影響が小さいことから本検討では考慮していない。杭体の剛性，降伏曲げモーメント及び終局曲げモーメントの算定式の不確実性の影響については，付属資料 1 に詳細を示す。

表−3.2.3 場所打ち杭の構造材料等の特性値及び不確実性の統計量（正規分布）

	特性値(公称値)	平 均	変動係数
場所打ち杭のｺﾝｸﾘｰﾄ強度 σ_{ck}	24 N/mm^2	1.40 ⇒ 1.00	0.18
コンクリートのヤング係数 E_c	2.5×10^4 N/mm^2	1.00	0.12
鉄筋の降伏点強度 σ_{sy}	345 N/mm^2	1.14 ⇒ 1.00	0.04
鉄筋のヤング係数 E_s	2.0×10^5 N/mm^2	1.00	0.05⇒0.0(確定値)
断面寸法，鉄筋量及び位置	公称値	確定値	確定値

表−3.2.4 PHC 杭の構造材料等の不確実性の統計量（正規分布）

	特性値(公称値)	平 均	変動係数
PHC 杭のｺﾝｸﾘｰﾄ強度 σ_{ck}	80 N/mm^2	1.18 ⇒ 1.00	0.03
コンクリートのヤング係数 E_c	4.0×10^4 N/mm^2	1.04 ⇒ 1.00	0.06
PC 鋼材の降伏点強度 σ_{py} 1)	1275 N/mm^2	1.03 ⇒ 1.00	0.01
PC 鋼材の引張強度 σ_{pu} 1)	1420 N/mm^2	1.03 ⇒ 1.00	0.01
PC 鋼材のヤング係数 E_p	2.0×10^5 N/mm^2	1.00	0.05⇒0.0(確定値)
有効プレストレス σ_{ce}	公称値	1.00	0.02
断面寸法（外径，厚さ）	公称値	確定値	確定値
PC 鋼材の断面積 2)	メーカー平均値	1.00	0.05
PC 鋼材の配置半径 2)	メーカー平均値	確定値	確定値
スパイラル鉄筋（径，間隔） 2)	メーカー平均値	確定値	確定値
スパイラル鉄筋の降伏点強度	345 N/mm^2	1.14 ⇒ 1.00	0.04
スパイラル鉄筋の有効長 2)	PC 鋼材配置直径	確定値	確定値

1) PC 鋼材の降伏点強度は，引張強度と独立したものではなく依存したものと考える。

2) PC 鋼材の断面積，配置半径，スパイラル鉄筋等の特性値は表−3.2.7 に示すとおり。

表-3.2.5　SC 杭の構造材料等の不確実性の統計量（正規分布）

	特性値(公称値)	平　均	変動係数
SC 杭のｺﾝｸﾘｰﾄ強度 σ_{ck}	80 N/mm^2	1.24 ⇒ 1.00	0.09
コンクリートのヤング係数 E_c	3.5×10^4 N/mm^2	1.19 ⇒ 1.00	0.04
鋼管の降伏点強度 σ_{sy}	(SKK400)235 N/mm^2 (SKK490)315 N/mm^2	1.34 ⇒ 1.00 1.29 ⇒ 1.00	0.08 ⇒ 0.08 0.07 ⇒ 0.08
鋼管のヤング係数 E_s	2.0×10^5 N/mm^2	1.00	0.05⇒0.0(確定値)
鋼管径 D	公称値	確定値	確定値
厚　さ t	公称値	確定値	確定値

※部材の耐力算定にあたっては，腐食代 1mm を考慮する。

表-3.2.6　鋼管杭及び鋼管ソイルセメント杭の鋼管の構造材料等の不確実性の統計量（正規分布）

	特性値(公称値)	平　均	変動係数
鋼管の降伏点強度 σ_{sy}	(SKK400)235 N/mm^2 (SKK490)315 N/mm^2	1.34 ⇒ 1.00 1.29 ⇒ 1.00	0.08 ⇒ 0.08 0.07 ⇒ 0.08
鋼管のヤング係数 E_s	2.0×10^5 N/mm^2	1.00	0.05⇒0.0(確定値)
鋼管径 D	公称値	確定値	確定値
厚　さ t	公称値	確定値	確定値

※部材の耐力算定にあたっては，腐食代 1mm を考慮する。

表-3.2.7 に試算モデルに適用した PHC 杭の断面諸元の特性値を示す。道路橋の杭基礎では，一般に 1,000mm までが PHC 杭の適用範囲とされている。しかし，本検討で作成した試算モデルは，杭体に発生する曲げモーメント分布のパターンを操作するために杭列数（本数）を制限しており，杭種と杭本数を変更せず設計を成立させる必要がある。そのため，試算モデルの中には，杭径 1,000mm 以上の PHC 杭を採用しているものもある。

表-3.2.7　PHC 杭の断面諸元の特性値

(a)断面諸元の特性値

外径	厚さ		設計基準強度	有効プレストレス	PC鋼棒		スパイラル鉄筋の有効長	断面積		換算断面二次モーメント	換算断面係数
D	T	種類	σck	σce	断面積 Ap	配置半径 rp	d	コンクリート Ac ×10²	換算 Ae ×10²	Ie ×10⁶	Ze ×10³
(mm)	(mm)		(N/mm²)	(N/mm²)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm²)	(mm⁴)	(mm³)
500	80	A	80	4	561.8	210	420	1,056	1,078	2,462	9,848
	80	B	85	8	1,157	210	420	1,056	1,101	2,515	10,060
	80	C	85	10	1,464	210	420	1,056	1,115	2,545	10,180
600	90	A	80	4	749.3	255	510	1,442	1,472	4,933	16,440
	90	B	85	8	1,549	255	510	1,442	1,505	5,043	16,810
	90	C	85	10	2,013	255	510	1,442	1,523	5,105	17,020
700	100	A	80	4	1,012	300	600	1,885	1,925	8,903	25,440
	100	B	85	8	2,031	300	600	1,885	1,967	9,092	25,980
	100	C	85	10	2,633	300	600	1,885	1,991	9,203	26,300
800	110	A	80	4	1,286	350	700	2,384	2,436	14,860	37,160
	110	B	85	8	2,554	350	700	2,384	2,487	15,180	37,950
	110	C	85	10	3,310	350	700	2,384	2,517	15,370	38,420
900	120	A	80	4	1,553	395	790	2,941	3,003	23,380	51,950
	120	B	85	8	3,101	395	790	2,941	3,065	23,860	53,030
	120	C	85	10	4,010	395	790	2,941	3,101	24,150	53,660
1000	130	A	80	4	1,883	440	880	3,553	3,628	35,100	70,210
	130	B	85	8	3,736	440	880	3,553	3,703	35,830	71,660
	130	C	85	10	4,810	440	880	3,553	3,746	36,250	72,500
1100	140	A	80	4	2,200	490	980	4,222	4,310	50,740	92,250
	140	B	85	8	4,400	490	980	4,222	4,398	51,800	94,180
	140	C	85	10	5,500	490	980	4,222	4,442	52,330	95,150
1200	150	A	80	4	2,600	540	1,080	4,948	5,052	71,110	118,500
	150	B	85	8	5,114	540	1,080	4,948	5,153	72,580	121,000
	150	C	85	10	6,500	540	1,080	4,948	5,208	73,390	122,300

PC鋼棒：細径異形PC鋼棒D種1号（SBPD 1275/1420）

(b)スパイラル鉄筋(SD345)の特性値

杭径(mm)	径	間隔(mm)
500	D10	90
600	D10	70
700	D10	60
800	D10	50
900	D13	80
1000	D13	70
1100	D13	70
1200	D13	60

3.2.2 地盤抵抗に関する不確実性

(1) 鉛直地盤抵抗

鉛直地盤抵抗特性としては，杭の軸方向ばね定数及び杭の極限支持力がある。ここでは特性値を求める式とその推定誤差を示す。

1) 杭の軸方向ばね定数 K_V

① 特性値

部分係数の検討に用いる杭の軸方向ばね定数 K_V の特性値は，文献 [1)]に示される式(3.2.1)により算出する。参考として，試算対象基礎の試設計に用いた H24 道示に規定される K_V 算出式も示す。

$$K_v=\frac{1}{\frac{L}{2AE}\left(1+\gamma_y-\xi_e\right)+\xi_d\frac{4\gamma_y}{\pi D_P{}^2 k_v}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.2.1)$$

ここに，

K_V ： 杭の軸方向ばね定数(kN/m)

γ_y ： 杭の降伏支持力に達したときの杭頭部に作用する軸方向押込み力の杭先端への伝達率の推定値で，$\gamma_y=\lambda_{yu}\gamma_u$ ($0\leqq\gamma_y\leqq1$) として求める。

λ_{yu} ： 先端伝達率 γ_y 算出のための補正係数で，表−3.2.8 による。

ξ_e ： 杭体収縮量に関する補正係数で，表−3.2.8 による。

ξ_d ： 杭の先端変位量に関する補正係数で，表−3.2.8 による。

D_p ： 杭先端の径(m)で，鋼管ソイルセメント杭の場合にはソイルセメント柱径，回転杭の場合には羽根径とする。

A ： 杭の断面積(mm^2)

E ： 杭のヤング係数(kN/mm^2)

L ： 杭長(m)

γ_u ： 杭の極限支持力に達したときの杭頭部に作用する軸方向押込み力の杭先端への伝達率の推定値で，$\gamma_u=R_{up}/R_u$ として求める。

R_{up} ： 地盤から決まる杭の極限支持力の特性値のうち，杭先端の極限支持力の特性値(kN)で，$R_{up}=q_d A$ として求める。

R_u ： 式(3.2.6)に従って算出される地盤から決まる杭の極限支持力の特性値(kN)

k_V ： 杭先端の鉛直方向地盤反力係数(kN/m^3)で，式(3.2.4)に従って算出する。ただし，α は作用の組合せに地震の影響を含まない場合の値とする。

ただし，SC 杭の場合には式(3.2.2)，鋼管ソイルセメント杭の場合には式(3.2.3)により AE を求める。

$$AE = A_{sp1}E_{sp1} + A_{sc1}E_{sc1} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.2.2)$$

ここに，

A_{sp1} ： 鋼管の断面積(mm^2)

E_{sp1}： 鋼管のヤング係数(kN/mm^2)

A_{sc1}： SC 杭のコンクリートの断面積(mm^2)

E_{sc1}： SC 杭のコンクリートのヤング係数(kN/mm^2)

$$AE = A_{sp2}E_{sp2} + A_{sc2}E_{sc2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.2.3)$$

ここに,

A_{sp2} ： 鋼管の断面積(mm^2)

E_{sp2} ： 鋼管のヤング係数(kN/mm^2)

A_{sc2} ： ソイルセメントの断面積(mm^2)

E_{sc2} ： ソイルセメントのヤング係数(kN/mm^2)

$$k_V = \lambda k_{V0}(B'/0.3)^{-3/4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.2.4)$$

ここに,

λ ： 基礎の施工法等の影響を考慮するための係数で，杭基礎の場合は 1.0 とする。

B' ： 地盤反力係数の推定に用いる基礎の換算載荷幅(m)で，D とする。

D ： 杭先端の径(m)で，鋼管ソイルセメント杭の場合にはソイルセメント柱径とする。

k_{V0} ： 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する地盤反力係数(kN/m^3)で，各種試験により求めた変形係数から推定する場合は，式(3.2.5)により求める。

$$k_{V0} = \alpha E_0 \frac{1}{0.3} \qquad \cdots\cdots\cdots(3.2.5)$$

ここに,

E_0 ： 表−3.2.9 に示す方法で推定した設計の対象とする位置での地盤の変形係数(kN/m^2)。

α ： 地盤反力係数の換算係数で，表−3.2.9 に示す値とする。

【参考】H24 道示における K_V 推定式

$K_V = \alpha \dfrac{A_P E_P}{L}$，（鋼管ソイルセメント杭の場合） $K_V = \alpha \dfrac{A_{SP}E_{SP} + A_{SC}E_{SC}}{L}$

表−3.2.8 先端伝達率算出のための補正係数 λ_{yu}，
杭体収縮量に関する補正係数ξ_e及び杭の先端変位量に関する補正係数ξ_d

杭工法	λ_{yu}	ξ_e	ξ_d
打込み杭工法	0.76	0.22	0.25
場所打ち杭工法	0.48	0.30	0.99
中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）	0.66	0.07	0.42
プレボーリング杭工法	0.58	0.04	0.16
鋼管ソイルセメント杭工法	0.71	0.42	0.48
回転杭工法	0.84	0.25	0.58

表−3.2.9　変形係数 E_0 と地盤反力係数の換算係数 α

変形係数 E_0 の推定方法	地盤反力係数の換算係数 α	
	作用の組合せに地震の影響を含まない場合	作用の組合せに地震の影響を含む場合
直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の 1/2	1	2
孔内水平載荷試験で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸圧縮試験又は三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験の N 値より E_0=2,800N で推定した変形係数	1	2

② モデル誤差の統計量

式(3.2.1)を用いた場合の K_V のモデル誤差（実測値／計算値）の統計量は，文献 [1)]に示されている値から数字を 0.05 単位に丸めて表−3.2.10 に示すとおり設定している。なお，確率分布は対数正規分布を仮定する。

表−3.2.10　杭の軸方向ばね定数 K_V の不確実性の統計量（対数正規分布）

杭工法	平均	変動係数
打込み工法	1.00 ⇒ 1.00	0.36 ⇒ 0.40
場所打ち杭工法	0.92 ⇒ 1.00	0.47 ⇒ 0.50
中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式)	1.05 ⇒ 1.00	0.42 ⇒ 0.45
プレボーリング杭工法	0.98 ⇒ 1.00	0.35 ⇒ 0.35
鋼管ソイルセメント杭工法	1.02 ⇒ 1.00	0.28 ⇒ 0.30
回転杭工法	1.06 ⇒ 1.00	0.40 ⇒ 0.40

2) 地盤から決まる杭の押込み支持力

① 特性値

杭の極限支持力 R_U は，文献 [1)]式(3.2.6)により算出する。

$$R_U = q_d \cdot A + U\sum(L_i \cdot f_i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.6)$$

ここに，

R_U　：地盤から決まる杭の極限支持力の特性値(kN)

q_d　：杭先端の極限支持力度の特性値(kN/m^2)で，表−3.2.12 による。

A　：杭先端面積(m^2)で $A=\pi D_p^2/4$ とする。D_p は表−3.2.11 による

U　：杭の周長(m)で $U=\pi D$ とする。D は表−3.2.11 による

L_i　：周面摩擦力を考慮する i 層の層厚(m)

f_i　：周面摩擦力を考慮する i 層の最大周面摩擦力度の特性値(kN/m^2)で，表−3.2.13 による。

表-3.2.11　杭の有効径 D，D_p

杭工法	杭及び杭先端の有効径 D，D_p
打込み杭工法	$D=D_p$＝杭体の直径
場所打ち杭工法	$D=D_p$＝杭体の直径（設計径）
中掘り杭工法	$D=D_p$＝杭体の直径
プレボーリング杭工法	$D=D_p$＝杭体の直径
鋼管ソイルセメント工法	$D=D_p$＝ソイルセメント柱の直径（設計径）
回転杭工法	D＝杭体一般部の直径 D_p＝羽根外径 D_w

表-3.2.12　杭先端極限支持力度 q_d の推定式（kN/m^2）

杭工法		先端地盤	推定式 [1)]		【参考】H24 道示	
打込み杭工法		粘性土	$90N$	(N≦50)	$60(L_b/D)N$	(N≦40，L_b/D≦5)
		砂	$130N$	(N≦50)	$60(L_b/D)N$	(N≦40，L_b/D≦5)
		砂れき	$130N$	(N≦50)	$60(L_b/D)N$	(N≦40，L_b/D≦5)
場所打ち杭工法		粘性土	$110N$	(N≦30)	$3q_u$	硬質粘性土層
		砂	$110N$	(N≦30)	3000	砂れき層及び砂層
		砂れき	$160N$	(N≦50)	5000	良質な砂れき層
中掘り杭工法	セメントミルク噴出攪拌方式	砂	$220N$	(N≦50)	$150N$	(N≦50)
		砂れき	$250N$	(N≦50)	$200N$	(N≦50)
プレボーリング工法		砂	$240N$	(N≦50)	$150N$	(N≦50)
		砂れき	$300N$	(N≦50)	$200N$	(N≦50)
鋼管ソイルセメント杭工法		砂	$190N$	(N≦50)	$150N$	(N≦50)
		砂れき	$240N$	(N≦50)	$200N$	(N≦50)
回転杭工法	羽根外径／杭径＝1.5 倍	砂	$120N$	(N≦50)	$120N$	(N≦50)
		砂れき	$130N$	(N≦50)	$130N$	(N≦50)
	羽根外径／杭径＝2.0 倍	砂	$90N$⇒$100N$	(N≦50)	$100N$	(N≦50)
		砂れき	$115N$	(N≦50)	$115N$	(N≦50)

表-3.2.13　最大周面摩擦力度 fi の推定式（kN/m^2）

杭工法	周面地盤	推定式 [1)]		【参考】H24 道示	
打込み杭工法	粘性土	c または $6N$	(≦70)	c または $10N$	(≦150)
	砂質土	$5N$	(≦100)	$2N$	(≦100)
場所打ち杭工法	粘性土	c または $5N$	(≦100)	c または $10N$	(≦150)
	砂質土	$5N$	(≦120)	$5N$	(≦200)
中掘り杭工法	粘性土	$0.8c$ または $4N$	(≦70)	$0.8c$ または $8N$	(≦100)
	砂質土	$2N$	(≦100)	$2N$	(≦100)
プレボーリング杭工法	粘性土	c または $7N$	(≦100)	c または $10N$	(≦100)
	砂質土	$5N$	(≦120)	$5N$	(≦150)
鋼管ソイルセメント杭工法	粘性土	c または $10N$	(≦200)	c または $10N$	(≦200)
	砂質土	$9N$	(≦300)	$10N$	(≦200)
回転杭工法	粘性土	c または $10N$	(≦100)	c または $10N$	(≦100)
	砂質土	$3N$	(≦150)	$3N$	(≦150)

② モデル誤差の統計量

鉛直支持力のモデル誤差（実測値／計算値）の統計量は，文献 [1)]に示されている値から数字を 0.05 単位に丸めて表-3.2.14 に示すとおり設定している。ここでは，支持杭を対象とし，表中のモデル誤差も支持杭に関するものである。なお，確率分布は対数正規分布を仮定する。

表−3.2.14　鉛直支持力（支持杭）の不確実性の統計量（対数正規分布）

杭工法	平均	変動係数
打込み工法	1.08 ⇒ 1.00	0.41 ⇒ 0.45
場所打ち杭工法	1.03 ⇒ 1.00	0.36 ⇒ 0.40
中掘り杭工法（ｾﾒﾝﾄﾐﾙｸ噴出攪拌方式）	1.05 ⇒ 1.00	0.30 ⇒ 0.35
プレボーリング杭工法	1.07 ⇒ 1.00	0.23 ⇒ 0.25
鋼管ソイルセメント杭工法	1.00 ⇒ 1.00	0.14 ⇒ 0.15
回転杭工法	1.06 ⇒ 1.00	0.17 ⇒ 0.20

(2)　水平地盤抵抗

1)　水平方向地盤反力係数 k_H（線形モデル）

①　特性値

部分係数の検討に用いる杭の水平方向地盤反力係数 k_H の特性値は，式(3.2.7)により算出する。これは，H24 道示 IV における推定式に等しい。

$$k_H=\lambda k_{H0}\left(\frac{B'}{0.3}\right)^{-3/4} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.2.7)$$

ここに，

k_{H0}　：直径 0.3m の剛体円盤による平板載荷試験の値に相当する地盤反力係数(kN/m^3)で各試験により求めた変形係数から推定する場合には，$k_{H0}=\frac{1}{0.3}\alpha E_0$ とする。

E_0　：表−3.2.9 に示す方法で推定した設計の対象とする位置での地盤の変形係数(kN/m^2)。

α　：地盤反力係数の換算係数で，表−3.2.9 に示す値とする。

B'　：地盤反力係数の推定に用いる基礎の換算載荷幅(m)で $B'=\sqrt{D/\beta}$ とする。

β　：基礎の特性値(m^{-1})で，$\beta=\sqrt[4]{k_HD/4EI}$ とする。

D　：杭の直径(m)で，鋼管ソイルセメント杭の場合はソイルセメント柱径とする。

EI　：基礎の曲げ剛性(kN･m^2)

λ　：基礎の施工方法の影響を考慮するための係数で，杭基礎の場合は 1.0。

本検討では，変位レベルが大きくなった場合の地盤反力係数の低下の影響を考慮するため，文献[6]に基づき，杭の水平変位が杭径の 1%を超える場合に，式(3.2.8)により k_H を補正する。なお，水平変位が 15mm 以下であっても，1%を超える場合には補正を行う。

$$k_H'=k_H\left(\frac{y_{eq}}{y_1}\right)^{-1/2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3.2.8)$$

ここに，

k_H'　：杭の水平変位が杭径の 1%を超え，水平変位に応じて補正された杭前面の水平方向地盤反力係数(kN/m^3)

y_{eq}　：杭の水平変位(mm)

y_1　：基準変位で，杭径の 1%に相当する値(mm)とする。ただし，鋼管ソイルセメント杭の場合はソイルセメント柱径の 1%に相当する値(mm)とする。

② モデル誤差の統計量

水平方向地盤反力係数のモデル誤差の統計量は，表-3.2.15 に示す値を用いる。既往の研究成果 [5]等に示されるように，地盤反力係数の推定精度は，地盤の変形係数の推定精度に依存する。地盤の変形係数の推定精度は地盤調査法や地盤条件によって異なるため，これらの条件別に統計量を設定している。以下に具体的な設定の考え方を示す。

地盤の変形係数を標準貫入試験から得られた N 値より推定する場合の不確実性は，杭の水平載荷試験で逆算的に得られた地盤反力係数と，式(3.2.7)により算出した地盤反力係数を比較した既往の知見 [6]を基本としている。既往の知見によれば，N 値が 5 以上の砂質土についてはバイアスが概ね 1.00，変動係数が 50~60%であるとされている。以上から，N 値が 5 以上の砂質土については，バイアスを 1.00，変動係数を 60%と見込んだ。一方，N 値が 5 未満の地盤については 3 から 4 程度のバイアスを有し，変動係数は 70~100%となっている。このような地盤に対しては，そもそも標準貫入試験により変形係数を推定することが望ましくないが，本検討では，変動係数は 100%とし，バイアスは 1.00 の場合を想定した。N 値が 5 以上の粘性土については，載荷試験数が少なかったため，載荷試験との比較により不確実性を評価することは難しいが，一般に砂質土よりも推定精度が低い一方で，N 値が 5 未満の地盤よりは推定精度が高いと考えられることから，N 値が 5 未満の変動係数の下限値である 70%と見込んだ。

変形係数を孔内水平載荷試験や室内試験等，標準貫入試験以外の方法により推定する場合については，変形係数をこれらの方法で推定したうえで杭の水平載荷試験を行った例が少ないため，N 値の時のように載荷試験との比較により変動係数を評価することができない。そこで，以下のように逆算的に求めることとした。

地盤反力係数の変動係数 COV_{kH} には，E の変動係数 COV_E と E から k_H に変換する変動係数 $COV_{E\rightarrow kH}$ が含まれていると考えられる。これらの変動係数の関係は，Ang-Tang の式により，式(3.2.9)のように表すことができる。

$$COV_{kH} = (COV_E^2 + COV_{E\rightarrow kH}^2)^{0.5} \cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.9)$$

上述の N 値 5 以上の砂質土について考えると，COV_{kH} は 60%である。また，中谷らの分析によれば，N 値 5 以上の砂質土について，N 値から求めた E の変動係数 COV_E は 55%である [6]。これらの数値を式(3.2.9)に代入すると，$COV_{E\rightarrow kH}$ は 25%となる。$COV_{E\rightarrow kH}$ は，E の不確実性を含まない変動係数であることから，推定方法や地盤条件によらず一定の値とする。

次に，E を孔内水平載荷試験等により求める場合の COV_E を評価する。Phoon によれば，砂や粘性土（シルト）の場合の変形係数を孔内水平載荷試験により求める場合の変動係数 COV_E は，概ね 35%であるとされている [7]。これと上記の $COV_{E\rightarrow kH}$ =25%を式(3.2.9)に代入すると，COV_{kH} =45%となる。ここで，室内試験から求める場合の COV_E は孔内水平載荷試験と同等であると見込んでいる。

最後に，杭の水平載荷試験により変形係数を求める場合については，載荷試験により直接的に求めることから，不確実性はないものと仮定し，COV_E =0%と見込み，COV_{kH} として $COV_{E\rightarrow kH}$ の 25%のみを考慮することとした。なお，水平載荷試験を行う場合には，地盤反力係数を直接求めることもできる。この場合には変動係数はさらに小さくなる可能性があるが，地盤反力係数を直接求める場合にも，厳密には，試験杭と本杭の位置の違いによ

る地盤条件の違い等があり，これを定量的に評価できるだけのデータもない。以上から，安全側として 25%を考慮することとした。

表-3.2.15　k_Hの不確実性の統計量（対数正規分布）

検討ケース	水平方向地盤反力係数又は地盤の変形係数の推定方法		平均	変動係数
Case-1	杭の水平載荷試験から水平方向地盤反力係数を推定		1.00	0.25
Case-2	標準貫入試験に加えて室内試験又は孔内水平載荷試験を行って変形係数を推定			0.45
Case-3	標準貫入試験の N 値のみから変形係数を推定	N 値が 5 以上の砂質土		0.60
Case-4		N 値が 5 以上の粘性土		0.70
Case-5		N 値が 5 未満		1.00

2)　地盤から決まる杭の降伏水平変位

①　特性値

地盤から決まる杭の降伏水平変位の特性値 d_{RY}は，地盤の弾性限界変位の検討結果より，杭径の 5.5%に相当する変位とする [2)]。

②　不確実性の統計量

地盤から決まる杭の降伏水平変位レベル d_L / B（d_L：降伏水平変位，B：杭径）の不確実性に関する統計量は，ワイブル分布曲線式により推定した弾性限界変位の不確実性より d_L / B の平均値＝1.00，変動係数＝0.40 とする [2)]。確率分布は対数正規分布を仮定する。

3.2.3　杭頭結合度の不確実性

杭頭接合は剛結とする。杭頭結合度の不確実性については既往の研究 [8)]より統計量が確認されている。この統計量を用いて，発生曲げモーメントに与える影響を確認したところ，杭頭結合度が発生曲げモーメントの不確実性に与える影響は小さいことが分かった。付属資料 1 にその検討結果を示す。また，組杭模型を用いた大型実験 [9)]の結果によれば，道示に示される方法で結合された杭頭接合部は，レベル 2 地震動を考慮する設計状況においても剛結とみなせることが確認されている。以上より，モンテカルロシミュレーションにおいて杭頭結合度の不確実性は考慮せず，剛結としてモデル化する。

3.3　モンテカルロシミュレーションによる応答値及び抵抗値の不確実性評価

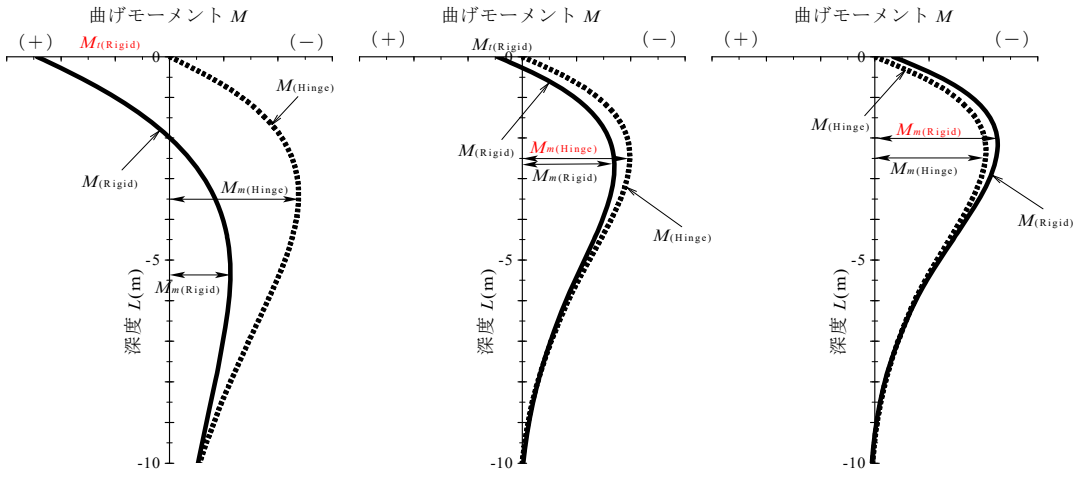
3.3.1　試算対象基礎

杭基礎の諸元の決定要因や応答は，地盤条件等によって異なるため，部分係数を検討するモンテカルロシミュレーションの対象とする杭基礎（試算対象基礎）の構造等は，既往の設計事例[3),9)]を参考に，地盤条件，構造条件に関するパラメータを変化させたうえで，H24 道示に基づき試設計を行って定めた。表-3.3.1 に試算対象基礎ケースを示し，表-3.3.2 に試算対象とする 114 ケースの杭基礎の諸元を示す。変化させたパラメータは，杭種・杭工法，杭頭付近の地盤条件（硬い場合・軟らかい場合），橋台・橋脚の違い，躯体高さ（高い場合・低い場合），杭径・板厚・杭長，杭列数・杭本数である。先端地盤は，試算対象基礎の条件に応じた支持力を確保できる支持層（N 値 30～50 の砂又は砂れき）としている。なお，橋台については常時及びレベル 1 地震時，橋脚についてはレベル 1 地震時を対象としている。これは，設計事例から橋脚において常時の荷重ケースが諸元を決定するケースとならないことから検討の対象外としている。表-3.3.2 の曲げモーメント分布の記号は，それぞれ杭体の曲げモーメントが以下のような分布になることを意味している。

G-1：杭頭剛結とした場合の杭頭曲げモーメントが最大となる（図-3.3.1 (a)参照）

G-2：杭頭ヒンジとした場合の地中部曲げモーメントが最大となる（図-3.3.1 (b)参照）

G-3：杭頭剛結とした場合の地中部曲げモーメントが最大となる（図-3.3.1 (c)参照）



(a) 現行設計$M_{max} = M_{t(Rigid)}$　(b) 現行設計$M_{max} = M_{m(Hinge)}$　(c) 現行設計$M_{max} = M_{m(Rigid)}$

図-3.3.1　杭体の曲げモーメント分布

表-3.3.1　試算対象基礎ケース

杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭			鋼管杭			SC杭			PHC杭			場所打ち杭			合計
下部構造	橋脚	橋台		橋脚	橋台		橋脚	橋台		橋脚	橋台		橋脚	橋台		
荷重ケース	L1	常	L1	L1	常	L1	L1	常	L1	L1	常	L1	L1	常	L1	
ケース数	4	4	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4	4	4	114

※常：常時、L1：レベル1地震時

表-3.3.2　試算に用いる杭基礎の諸元（1）

■鋼管ソイルセメント杭工法

杭工法	杭種	下部構造形式	荷重ケース	試算対象基礎ケース名	地域区分	地盤種別	設計水平震度 kh	主たる中間層	平均N値	支持層	N値	下部構造高さ (m)	杭径（ソイル径） (mm)	杭長 (m)	板厚 (mm)	種類	杭配置	杭列数 LG (列)	杭列数 TR (列)	杭本数 (本)	地盤の変形係数E_b (kN/m^2)	曲げモーメント分布	安定照査		部材照査
																							支持力	水平変位	
鋼管ソイルセメント杭工法	鋼管ソイルセメント杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 3	砂層	30	低 7.0	900	20.0	13	SKK400	整列	4	2	8	2100	G-1	○	○	○
				P-02-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 3	砂層	30	高 15.0	1200	20.0	11	SKK400	整列	4	2	8	2100	G-1	○	○	
				P-03-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 12	砂層	30	低 7.0	1000	20.0	17	SKK400	整列	2	2	4	8400	G-3	○	○	
				P-04-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 12	砂層	30	高 15.0	1400	20.0	20	SKK400	整列	2	2	4	8400	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	低 8.0	800	20.0	18	SKK400	整列	3	4	12	2800	G-1	○		○
				A-02-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	高 12.0	1100	20.0	17	SKK400	整列	3	5	15	2800	G-1	○		
				A-03-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 15	砂層	30	低 8.0	900	15.0	14	SKK490	整列	2	3	6	10500	G-2	○		
				A-04-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 15	砂層	30	高 12.0	1300	15.0	16	SKK490	整列	2	3	6	10500	G-3	○		○
			常時	A-05-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	低 8.0	1200	20.0	13	SKK400	整列	2	3	6	2800	G-1	○		○
				A-06-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	高 12.0	1400	20.0	15	SKK400	整列	2	4	8	2800	G-1	○		
				A-07-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 20	砂層	30	低 8.0	800	20.0	18	SKK490	千鳥	3	3	5	14000	G-2	○		
				A-08-SPSC	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 20	砂層	30	高 12.0	1300	20.0	18	SKK490	千鳥	3	3	5	14000	G-3	○		○

■回転杭工法

杭工法	杭種	下部構造形式	荷重ケース	試算対象基礎ケース名	地域区分	地盤種別	設計水平震度 kh	主たる中間層	平均N値	支持層	N値	下部構造高さ (m)	杭径（ソイル径） (mm)	杭長 (m)	板厚 (mm)	種類	杭配置	杭列数 LG (列)	杭列数 TR (列)	杭本数 (本)	地盤の変形係数E_b (kN/m^2)	曲げモーメント分布	安定照査		部材照査
																							支持力	水平変位	
回転杭工法	鋼管杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 2	砂層	30	低 7.0	700	20.0	10	SKK400	千鳥	4	3	10	1400	G-1	○	○	○
				P-02-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 2	砂層	30	高 15.0	900	20.0	12	SKK400	千鳥	4	3	10	1400	G-2	○	○	
				P-03-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 15	砂層	40	低 7.0	500	20.0	11	SKK400	整列	3	5	15	10500	G-3	○	○	
				P-04-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 15	砂層	40	高 15.0	1000	20.0	18	SKK490	整列	2	3	6	10500	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	低 8.0	500	20.0	13	SKK400	整列	4	5	20	2800	G-1	○		○
				A-02-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	高 12.0	700	20.0	17	SKK400	整列	4	5	20	2800	G-1	○		
				A-03-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 20	砂層	40	低 8.0	700	20.0	15	SKK490	千鳥	3	5	8	14000	G-3	○		
				A-04-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 20	砂層	40	高 12.0	1000	20.0	18	SKK490	整列	2	4	8	14000	G-3	○		○
			常時	A-05-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	低 8.0	900	20.0	15	SKK400	整列	2	3	6	2800	G-1	○		○
				A-06-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟 4	砂層	30	高 12.0	900	20.0	17	SKK400	整列	3	4	12	2800	G-1	○		
				A-07-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 20	砂層	50	低 8.0	800	20.0	12	SKK490	千鳥	3	3	5	14000	G-2	○		
				A-08-SPP(回)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬 20	砂層	50	高 12.0	1200	20.0	16	SKK490	千鳥	3	3	5	14000	G-3	○		○

表-3.3.2　試算に用いる杭基礎の諸元（2）

■打込み杭工法

杭工法	杭種	下部構造形式	荷重ケース	試算対象基礎ケース名	地域区分	地盤種別	設計水平震度 kh	主たる中間層	平均N値		支持層	N値	下部構造高さ (m)		杭径（ソイル径）(mm)	杭長 (m)	板厚 (mm)	種類	杭配置	杭列数 LG (列)	杭列数 TR (列)	杭本数 (本)	地盤の変形係数E_b (kN/m^2)	曲げモーメント分布	安定照査		部材照査
																									支持力	水平変位	
打込み工法	鋼管杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	2	砂	40	低	7.0	800	20.0	9	SKK400	千鳥	4	3	10	1400	G-1	○	○	○
				P-02-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	2	砂	40	高	15.0	1000	20.0	10	SKK400	整列	4	3	10	1400	G-1	○	○	
				P-03-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	16	砂	40	低	7.0	900	20.0	9	SKK400	整列	2	4	8	11200	G-3	○	○	
				P-04-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	16	砂	40	高	15.0	1200	20.0	12	SKK400	整列	2	4	8	11200	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂	40	低	8.0	600	20.0	11	SKK400	整列	3	6	18	2100	G-1	○		○
				A-02-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂	40	高	12.0	800	20.0	14	SKK400	整列	4	6	24	2100	G-1	○		
				A-03-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂	40	低	8.0	900	25.0	12	SKK400	整列	2	4	8	14000	G-3	○		
				A-04-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂	40	高	12.0	1200	25.0	15	SKK400	整列	2	5	10	14000	G-3	○		○
			常時	A-05-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂	40	低	8.0	800	20.0	11	SKK400	整列	2	5	10	2100	G-1	○		○
				A-06-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂	40	高	12.0	900	20.0	14	SKK400	整列	3	5	15	2100	G-1	○		
				A-07-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂	40	低	8.0	800	25.0	9	SKK400	整列	2	5	10	14000	G-3	○		
				A-08-SPP(打)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂	40	高	12.0	1200	25.0	11	SKK400	整列	2	5	10	14000	G-3	○		○
	SC杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SC(打)	A2	Ⅲ	0.30	粘性土	軟	2	砂れき	50	低	6.0	800	40.0	110 / 8	SKK400	整列	3	3	8	1400	G-1	○	○	○
				P-04-SC(打)	A2	Ⅲ	0.30	粘性土	硬	12	砂れき	50	高	15.0	800	40.0	110 / 11	SKK400	整列	3	3	9	8400	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SC(打)	C	Ⅲ	0.21	粘性土	軟	2	砂れき	50	低	7.0	600	40.0	90 / 11	SKK400	整列	2	5	10	1400	G-1	○		○
				A-04-SC(打)	C	Ⅲ	0.21	砂質土	硬	25	砂れき	50	高	11.0	700	40.0	100 / 9	SKK400	整列	2	5	10	17500	G-3	○		○
			常時	A-05-SC(打)	C	Ⅲ	0.21	粘性土	軟	2	砂れき	50	低	7.0	600	40.0	90 / 7	SKK400	整列	2	5	10	1400	G-1	○		○
				A-08-SC(打)	C	Ⅲ	0.21	砂質土	硬	25	砂れき	50	高	11.0	700	40.0	100 / 7	SKK400	整列	2	4	8	17500	G-2	○		○
	PHC杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-PHC(打)	A2	Ⅲ	0.30	粘性土	軟	2	砂れき	50	低	6.0	800	20.0	110	B種	整列	4	3	12	1400	G-1	○	○	○
				P-04-PHC(打)	A2	Ⅲ	0.30	粘性土	硬	12	砂れき	50	高	15.0	800	20.0	110	C種	整列	3	4	12	8400	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-PHC(打)	C	Ⅱ	0.18	粘性土	軟	3	砂れき	50	低	7.0	800	20.0	110	C種	整列	2	5	10	2100	G-1	○		○
				A-04-PHC(打)	C	Ⅱ	0.18	砂質土	硬	25	砂れき	50	高	11.0	1000	30.0	130	C種	整列	2	5	10	17500	G-3	○		○
			常時	A-05-PHC(打)	C	Ⅱ	0.18	粘性土	軟	3	砂れき	50	低	7.0	800	20.0	110	B種	整列	2	5	10	2100	G-1	○		○
				A-08-PHC(打)	C	Ⅱ	0.18	砂質土	硬	25	砂れき	50	高	11.0	1000	30.0	130	B種	整列	2	4	8	17500	G-2	○		○

表-3.3.2　試算に用いる杭基礎の諸元（3）

■中掘り杭工法

杭工法	杭種	下部構造形式	荷重ケース	試算対象基礎ケース名	地域区分	地盤種別	設計水平震度 kh	主たる中間層	平均N値		支持層	N値	下部構造高さ(m)		杭径（ソイル径）(mm)	杭長(m)	板厚(mm)	種類	杭配置	杭列数 LG(列)	杭列数 TR(列)	杭本数(本)	地盤の変形係数E_b (kN/m^2)	曲げモーメント分布	安定照査		部材照査
																									支持力	水平変位	
中掘り杭工法	鋼管杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SPP(中)	A2	Ⅲ	0.30	粘性土	軟	2	砂れき層	40	低	6.0	600	20.0	12	SKK400	整列	4	3	12	1400	G-1	○	○	○
				P-04-SPP(中)	A2	Ⅲ	0.30	粘性土	硬	12	砂れき層	40	高	15.0	600	25.0	15	SKK400	整列	4	3	12	8400	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SPP(中)	B	Ⅲ	0.26	粘性土	軟	2	砂れき層	50	低	6.0	600	20.0	9	SKK400	整列	2	8	16	1400	G-1	○		○
				A-04-SPP(中)	C	Ⅱ	0.18	粘性土	硬	18	砂れき層	50	高	12.0	800	20.0	18	SKK400	整列	2	6	12	12600	G-3	○		○
			常時	A-05-SPP(中)	C	Ⅱ	0.18	粘性土	軟	3	砂れき層	50	低	8.0	600	20.0	10	SKK400	整列	3	6	18	2100	G-1	○		○
				A-08-SPP(中)	C	Ⅱ	0.18	粘性土	硬	18	砂れき層	50	高	12.0	800	20.0	15	SKK400	整列	2	6	12	12600	G-3	○		○
	SC杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	低	7.0	700	20.0	100/5	SKK400	整列	4	3	10	1400	G-1	○	○	○
				P-02-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	高	15.0	900	20.0	120/45	SKK490	整列	4	3	10	1400	G-1	○	○	
				P-03-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	14	砂層	50	低	7.0	600	20.0	90/45	SKK400	整列	3	5	15	9800	G-3	○	○	
				P-04-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	14	砂層	50	高	15.0	1000	20.0	130/6	SKK400	整列	3	3	9	9800	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	4	砂層	40	低	8.0	1000	20.0	130/8	SKK400	千鳥	3	5	8	2800	G-1	○		○
				A-02-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	4	砂層	40	高	12.0	1100	20.0	140/9	SKK400	千鳥	3	9	14	2800	G-2	○		
				A-03-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂層	50	低	8.0	800	20.0	110/9	SKK400	整列	2	4	8	14000	G-3	○		
				A-04-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂層	50	高	12.0	1100	20.0	140/14	SKK400	整列	2	4	8	14000	G-3	○		○
			常時	A-05-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂層	50	低	8.0	600	20.0	90/6	SKK400	整列	3	6	18	2100	G-1	○		○
				A-06-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂層	50	高	12.0	1000	20.0	130/6	SKK400	整列	3	4	12	2100	G-1	○		
				A-07-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂れき層	50	低	8.0	800	20.0	110/45	SKK400	千鳥	3	5	8	14000	G-3	○		
				A-08-SC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂れき層	50	高	12.0	800	20.0	110/6	SKK400	千鳥	3	9	14	14000	G-3	○		○
	PHC杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	低	7.0	700	20.0	100	C種	整列	4	3	10	1400	G-1	○	○	○
				P-02-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	高	15.0	900	20.0	120	B種	整列	4	3	10	1400	G-1	○	○	
				P-03-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	13	砂層	50	低	7.0	500	20.0	80	B種	整列	4	5	20	9100	G-2	○	○	
				P-04-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	13	砂層	50	高	15.0	700	20.0	100	B種	整列	4	5	20	9100	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	4	砂層	30	低	8.0	900	20.0	120	C種	千鳥	3	7	11	2800	G-1	○		○
				A-02-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	4	砂層	30	高	12.0	1200	20.0	150	C種	千鳥	3	9	14	2800	G-1	○		
				A-03-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	18	砂層	40	低	8.0	800	20.0	110	C種	整列	2	5	10	12600	G-3	○		
				A-04-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	18	砂層	40	高	12.0	1200	20.0	150	C種	整列	2	5	10	12600	G-3	○		○
			常時	A-05-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂層	30	低	8.0	600	20.0	90	C種	整列	3	8	24	2100	G-1	○		○
				A-06-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	粘性土	軟	3	砂層	30	高	12.0	1000	20.0	130	C種	整列	3	5	15	2100	G-1	○		
				A-07-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂層	50	低	8.0	900	20.0	120	B種	整列	2	4	8	14000	G-2	○		
				A-08-PHC(中)	A2	Ⅱ	0.25	砂質土	硬	20	砂層	50	高	12.0	1200	20.0	150	A種	整列	2	5	10	14000	G-3	○		○

表-3.3.2　試算に用いる杭基礎の諸元（4）

■プレボーリング杭工法

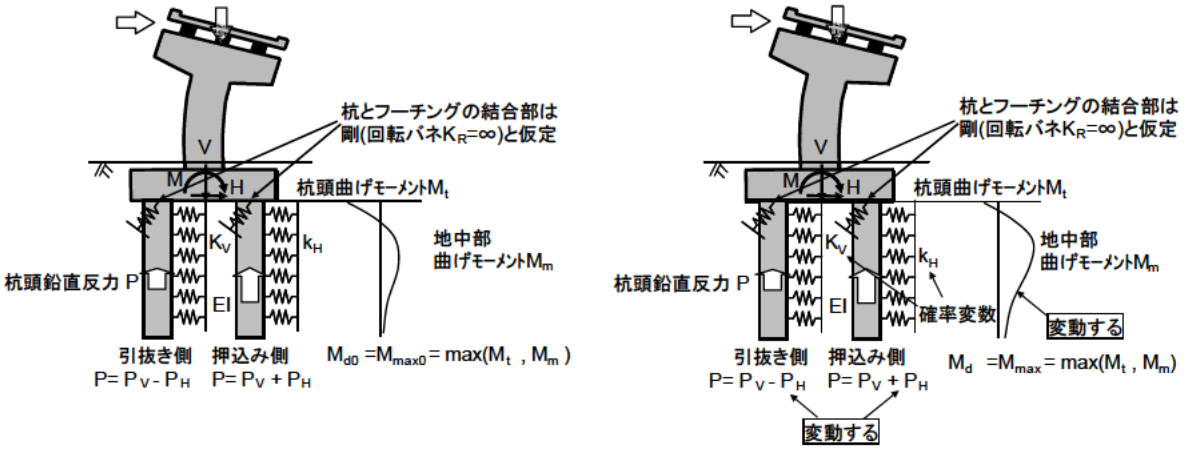
杭工法	杭種	下部構造形式	荷重ケース	試算対象基礎ケース名	地域区分	地盤種別	設計水平震度 kh	主たる中間層	平均N値		支持層	N値	下部構造高さ(m)		杭径（ソイル径）(mm)	杭長(m)	板厚(mm)	種類	杭配置	杭列数 LG(列)	杭列数 TR(列)	杭本数(本)	地盤の変形係数E_b (kN/m^2)	曲げモーメント分布	安定照査		部材照査
																									支持力	水平変位	
プレボーリング杭工法	SC杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-SC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	低	7.0	800	20.0	110 / 6	SKK400	整列	4	2	8	1400	G-1	○	○	○
				P-02-SC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	高	15.0	1000	20.0	130 / 7	SKK400	整列	4	2	8	1400	G-1	○	○	
				P-03-SC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	13	砂層	50	低	7.0	800	20.0	110 / 6	SKK400	整列	2	3	6	9100	G-3	○	○	
				P-04-SC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	13	砂層	50	高	15.0	1100	20.0	140 / 11	SKK400	整列	2	3	6	9100	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-SC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂層	40	低	8.0	800	20.0	110 / 8	SKK400	整列	3	4	12	2800	G-1	○		○
				A-02-SC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂層	40	高	12.0	1200	20.0	150 / 10	SKK400	整列	3	4	12	2800	G-1	○		
				A-03-SC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	20	砂層	40	低	8.0	700	20.0	100 / 13	SKK400	千鳥	3	5	8	14000	G-3	○		
				A-04-SC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	20	砂層	40	高	12.0	1000	20.0	130 / 16	SKK400	整列	2	4	8	14000	G-3	○		○
			常時	A-05-SC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	3	砂層	50	低	8.0	600	20.0	90 / 6	SKK400	整列	3	6	18	2100	G-1	○		○
				A-06-SC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	3	砂層	50	高	12.0	1000	20.0	130 / 7	SKK400	整列	3	4	12	2100	G-1	○		
				A-07-SC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	20	砂れき層	40	低	8.0	700	20.0	100 / 6	SKK400	千鳥	3	5	8	14000	G-2	○		
				A-08-SC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	20	砂れき層	40	高	12.0	1000	20.0	130 / 6	SKK400	千鳥	3	5	8	14000	G-3	○		○
	PHC杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-PHC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	低	7.0	800	20.0	110	C種	整列	4	2	8	1400	G-1	○	○	○
				P-02-PHC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	2	砂層	50	高	15.0	900	20.0	120	B種	整列	4	3	10	1400	G-1	○	○	
				P-03-PHC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	13	砂層	50	低	7.0	600	20.0	90	B種	整列	3	4	10	9100	G-2	○	○	
				P-04-PHC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	13	砂層	50	高	15.0	800	20.0	110	B種	整列	3	4	10	9100	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-PHC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂層	30	低	8.0	1000	20.0	130	C種	千鳥	3	7	11	2800	G-1	○		○
				A-02-PHC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂層	30	高	12.0	1200	20.0	150	C種	整列	3	5	15	2800	G-1	○		
				A-03-PHC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	18	砂層	30	低	8.0	1000	20.0	130	C種	整列	2	3	6	12600	G-3	○		
				A-04-PHC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	18	砂層	30	高	12.0	1200	20.0	150	C種	整列	2	4	8	12600	G-3	○		○
			常時	A-05-PHC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	3	砂層	30	低	8.0	900	20.0	120	C種	整列	2	5	10	2100	G-1	○		○
				A-06-PHC(プ)	A2	II	0.25	粘性土	軟	3	砂層	30	高	12.0	1100	20.0	140	C種	整列	3	4	12	2100	G-1	○		
				A-07-PHC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	18	砂層	40	低	8.0	1100	20.0	140	B種	千鳥	3	3	5	12600	G-2	○		
				A-08-PHC(プ)	A2	II	0.25	砂質土	硬	18	砂層	40	高	12.0	800	20.0	110	C種	千鳥	3	9	14	12600	G-3	○		○

■場所打ち杭工法

杭工法	杭種	下部構造形式	荷重ケース	試算対象基礎ケース名	地域区分	地盤種別	設計水平震度 kh	主たる中間層	平均N値		支持層	N値	下部構造高さ(m)		杭径（ソイル径）(mm)	杭長(m)	板厚(mm)	種類	杭配置	杭列数 LG(列)	杭列数 TR(列)	杭本数(本)	地盤の変形係数E_b (kN/m^2)	曲げモーメント分布	安定照査		部材照査
																									支持力	水平変位	
場所打ち杭工法	場所打ち杭	橋脚	レベル1地震時	P-01-CCP	A2	II	0.25	粘性土	軟	2	砂	50	低	7.0	1150	20.0	D22	22	整列	4	2	8	1400	G-1	○	○	○
				P-02-CCP	A2	II	0.25	粘性土	軟	2	砂	50	高	15.0	1500	20.0	D22	28	整列	4	2	8	1400	G-1	○	○	
				P-03-CCP	A2	II	0.25	砂質土	硬	12	砂	50	低	7.0	1150	20.0	D22	14	整列	2	3	6	8400	G-3	○	○	
				P-04-CCP	A2	II	0.25	砂質土	硬	12	砂	50	高	15.0	1550	20.0	D29	26	整列	2	3	6	8400	G-3	○	○	○
		橋台	レベル1地震時	A-01-CCP	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂	50	低	8.0	1000	20.0	D35	14	整列	3	4	12	2800	G-1	○		○
				A-02-CCP	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂	50	高	12.0	1200	20.0	D32	24	整列	3	5	15	2800	G-1	○		
				A-03-CCP	A2	II	0.25	砂質土	硬	15	砂れき	50	低	8.0	900	15.0	D35	14	整列	2	4	8	10500	G-2	○		
				A-04-CCP	A2	II	0.25	砂質土	硬	15	砂れき	50	高	12.0	1250	15.0	D35	24	整列	2	4	8	10500	G-3	○		○
			常時	A-05-CCP	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂	50	低	8.0	1150	20.0	D29	22	整列	2	4	8	2800	G-1	○		○
				A-06-CCP	A2	II	0.25	粘性土	軟	4	砂	50	高	12.0	1250	20.0	D35	24	整列	3	4	12	2800	G-1	○		
				A-07-CCP	A2	II	0.25	砂質土	硬	19	砂れき	50	低	8.0	900	15.0	D29	14	整列	2	4	8	13300	G-2	○		
				A-08-CCP	A2	II	0.25	砂質土	硬	19	砂れき	50	高	12.0	1000	15.0	D25	18	整列	2	6	12	13300	G-3	○		○

3.3.2　応答値及び抵抗値の不確実性の評価方法

図-3.1.1 に示すように，評価対象とする応答値の不確実性としては杭頭鉛直反力・杭頭水平変位・杭体発生曲げモーメント，抵抗値の不確実性としては押込み支持力・降伏水平変位・曲げ耐力（降伏曲げモーメント，終局曲げモーメント）である。このうち抵抗値である押込み支持力・降伏水平変位については，載荷実験による実測値と設計値の比から算出した統計量（3.2.2 参照）として不確実性を評価している。その他の不確実性の評価方法としてモンテカルロシミュレーションを用いる。具体的には，3.3.1 で示した試算対象基礎に対して，3.2.2 で示した不確実性要因について，それぞれの統計量及び確率分布に従って値を変化させた 1000 個のサンプルを作成する（図-3.3.2 (b)）。次に，そのサンプルを用いて応答値又は抵抗値を計算した結果（以下，サンプル計算値）が，設計値に対してどの程度の不確実性を有するかを評価する。ここで，設計値とは，3.2 で示した各物性値の特性値を用いて確定的に算出された応答値又は抵抗値である（図-3.3.2 (a)）。



(a)設計値の計算モデル　　(b)サンプル計算値の計算モデル

図-3.3.2　計算モデルの違い

(1)　応答値の不確実性の評価方法

ばらつきを有する各種応答値（杭頭鉛直反力，杭頭水平変位，発生曲げモーメント）は，モンテカルロシミュレーションを用いて算出した。具体的には，杭の軸方向ばね定数 K_V 及び水平方向地盤反力係数 k_H の不確実性をそれぞれ独立として扱い，各々の統計量および確率分布に従って 1000 個のサンプルを作成し，そのサンプルを用いた 1000 個の設計計算モデルに荷重を入力して応答のサンプル計算値を求めた。1000 個のばらつきを有するサンプル計算値と設計値との比により変化率を算出し，これを応答値の不確実性として評価した。なお，設計計算は，ラーメンモデルから算出した値と同等となることを確認した上で，従来の設計で標準的に用いていた変位法により行った。

杭頭鉛直反力 P は，鉛直荷重による杭頭反力 P_V と，水平荷重を受けて偶力により生じる杭頭反力 P_H の合計値として表される。このうち水平荷重による杭頭鉛直反力 P_H について，設計計算モデルの不確実性を考慮して評価しており，以下にその方法を示す。

一般的な橋脚の場合は，レベル 1 地震時において P_V は死荷重による鉛直反力，P_H は地震荷重を受けて生じる鉛直反力となる。また，一般的な橋台の場合は，常時やレベル 1 地震時に

おいて P_V は上部構造からの鉛直荷重（死荷重，活荷重），躯体自重及び裏込め土の重量等の鉛直荷重による鉛直反力，P_H は上部構造からの水平荷重及び土圧の水平成分を受けて生じるによる鉛直反力となる。

ここで，P_V は確定値である鉛直荷重のみから求められるため，P_V 自身も確定値となる。一方，P_H については，設計計算モデルに水平荷重を入力して算出される値であるため，設計計算モデルの不確実性，ここでは杭の軸方向ばね定数 K_V 及び水平方向地盤反力係数 k_H の不確実性の影響を受けて変動する。したがって，P は式(3.3.1)のように表され，変動による影響を考慮して評価する必要がある。

杭頭鉛直反力：P ＝(確定値)P_V ＋(変動値)P_H ……(3.3.1)

したがって，P_V が確定値であるため，P の不確実性は P_H の変化率を算出し，不確実性を評価する必要がある。杭頭反力 P の統計量（平均値 μ_P，標準偏差 σ_P）は式(3.3.2)及び式(3.3.3)のようになる。

$$\mu_P = P_V + \mu_{PH} \quad \cdots\cdots (3.3.2)$$

$$\sigma_P = \sigma_{PH} \quad \cdots\cdots (3.3.3)$$

ここに，

μ_{PH} ：水平荷重による杭頭反力の平均値

σ_{PH} ：水平荷重による杭頭反力の標準偏差

水平荷重による杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び最大曲げモーメントの変化率は次のように表すことができる。

水平荷重による杭頭鉛直反力の変化率　$p_{Hi} = P_{Hi} \,/\, P_{H0}$

杭頭水平変位の変化率　$p_{di} = d_i \,/\, d_0$

最大曲げモーメントの変化率　$p_{Mi} = M_{\max i} \,/\, M_{\max 0}$

ここに，

P_{Hi}：水平荷重による杭頭鉛直反力($n = 1000$)で，杭頭鉛直反力 P_{Ni} から鉛直荷重による杭頭鉛直反力 P_V の差で表される

$P_{Hi} = P_{Ni} - P_V$

P_V＝フーチング下面における荷重／杭本数

P_{H0}：水平荷重による杭頭鉛直反力の設計値で，杭頭鉛直反力 P_{N0} から鉛直荷重による杭頭鉛直反力 P_V の差で表される

$P_{H0} = P_{N0} - P_V$

d_i：杭頭水平変位のサンプル計算値($n = 1000$)

d_0 ：杭頭水平変位の設計値

$M_{\max i}$：最大曲げモーメントのサンプル計算値($n = 1000$)

$M_{\max 0}$：最大曲げモーメントの設計値

(2) 抵抗値の不確実性の評価方法

部材照査における抵抗値は 3.2.1 に示す曲げ耐力であり，応答値と同様にモンテカルロシミュレーションにより不確実性の統計量を評価する。具体的には，3.2.1 に示す不確実性をそれぞれ独立として扱い，各々の統計量および確率分布に従って 1000 個のサンプルを作成し，そのサンプルを用いた 1000 個の設計計算モデルに荷重を入力して抵抗のサンプル計算値を求めた。1000 個のばらつきを有するサンプル計算値と設計値との比により変化率を算出し，これを抵抗値の不確実性として評価した。なお，曲げ耐力の算出に用いる軸力は，(1)に示した杭頭鉛直反力に相当するため，地盤抵抗（杭の軸方向ばね定数 K_V 及び水平方向地盤反力係数 k_H）の不確実性が考慮された値である。

曲げ耐力の変化率は次のように表すことができる。

降伏曲げモーメントの変化率　$p_{Myi} = My_i \ / \ My_0$

終局曲げモーメントの変化率　$p_{Mui} = Mu_i \ / \ Mu_0$

ここに，

My_i：降伏曲げモーメントのサンプル計算値($n = 1000$)

My_0：降伏曲げモーメントの設計値

Mu_i：終局曲げモーメントのサンプル計算値($n = 1000$)

Mu_0：終局曲げモーメントの設計値

安定照査における抵抗値（押込み支持力及び降伏水平変位）の不確実性は，設計値と実験値の比により直接評価するため，モンテカルロシミュレーションを用いた統計量の算出は行っていない。統計量については 3.2.2 に示したとおりである。

3.3.3 特性値を用いた応答値（設計値）の算出結果

サンプル計算値との変化率を算出するため，試算対象基礎の杭頭鉛直反力及び杭頭水平変位，杭体の発生曲げモーメントの設計値を特性値を用いた設計計算に基づき算出した。なお，本節で示す計算結果における杭体の曲げモーメントの符号は，図-3.3.1 に示した符号と逆である。

(1) 杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント

1) 鋼管ソイルセメント杭工法

表-3.3.3 杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（鋼管ソイルセメント杭工法）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，鋼管ソイルセメント杭】

				P-01-SPSC	P-02-SPSC	P-03-SPSC	P-04-SPSC
N 値				3	3	12	12
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	17,408	17,408
杭径			D(m)	0 900	1 200	1 000	1 400
杭本数			n(本)	8	8	4	4
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	12,955	12,035	60,221	46,918
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	239,982	296,911	389,888	539,966
1/β の深さ			1/β (m)	3 197	3 806	2 514	3 494
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	12,005 0	15,404 0	10,613 0	13,664 0
	水平力		H_0(kN)	2,719 0	3,537 0	2,425 0	3,170 0
	モーメント		M_0(kN)	14,275 0	35,347 0	13,981 0	34,980 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0112	0 0109	0 0091	0 0107
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,500 6	1,925 5	2,653 3	3,416 0
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,116 9	1,985 6	2,272 9	4,018 9
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,617 5	3,911 1	4,926 2	7,434 9
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	383 7	-60 1	380 3	-602 9
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-418 4	-545 5	199 5	1,511 0
		地中部	M_{mF}(kN m)	145 2	260 0	627 7	2,054 5
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	418 4	545 5	627 7	2,054 5

【橋台・レベル 1 地震時，鋼管ソイルセメント杭】

				A-01-SPSC	A-02-SPSC	A-03-SPSC	A-04-SPSC
N 値				4	4	15	15
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	20,579	20,579
杭径			D(m)	0 800	1 100	0 900	1 300
杭本数			n(本)	12	15	6	6
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	13,819	12,936	73,761	59,628
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	249,030	326,860	359,417	502,974
1/β の深さ			1/β (m)	3 121	3 946	2 109	2 965
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	12,408 0	22,790 0	10,356 0	17,269 0
	水平力		H_0(kN)	6,021 0	12,089 0	5,582 0	10,893 0
	モーメント		M_0(kN)	15,471 0	38,200 0	16,832 0	39,730 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0183	0 0185	0 0119	0 0153
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,034 0	1,519 3	1,726 0	2,878 2
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,303 1	1,937 9	2,318 4	4,123 6
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,337 1	3,457 3	4,044 4	7,001 8
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	-269 1	-418 6	-592 4	-1,245 5
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-578 5	-1,135 4	-208 6	-182 3
		地中部	M_{mF}(kN m)	217 1	454 2	505 7	1,619 6
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	578 5	1,135 4	505 7	1,619 6

【橋台・常時，鋼管ソイルセメント杭】

				A-05-SPSC	A-06-SPSC	A-07-SPSC	A-08-SPSC
N 値				4	4	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	25,535	25,535
杭　径			D(m)	1 200	1 400	0 800	1 300
杭　本　数			n(本)	6	8	5	5
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	8,116	7,109	61,785	43,832
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	324,286	393,721	423,213	615,390
1/β の深さ			1/β (m)	4 389	5 204	2 146	3 299
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	12,015 0	21,208 0	10,496 0	22,227 0
	水平力		H_0(kN)	2,304 0	4,595 0	2,304 0	4,595 0
	モーメント		M_0(kN)	1,338 0	4,280 0	5,209 0	15,934 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0115	0 0143	0 0072	0 0091
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	2,002 5	2,651 0	2,099 2	4,445 4
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	554 1	884 4	1,312 0	2,578 7
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,556 6	3,535 4	3,411 2	7,024 1
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	1,448 4	1,766 6	787 2	1,866 7
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-608 2	-1,056 9	-165 2	-217 1
		地中部	M_{mF}(kN m)	238 5	430 5	222 2	842 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	608 2	1,056 9	222 2	842 7

2) 回転杭工法

表−3.3.4 杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生断面力（回転杭工法）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，鋼管杭】

				P-01-SPP(回)	P-02-SPP(回)	P-03-SPP(回)	P-04-SPP(回)
N 値				2	2	15	15
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	20,579	20,579
杭径			D(m)	0 700	0 900	0 500	1 000
杭本数			n(本)	10	10	15	6
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,882	5,703	104,627	60,976
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	162,751	219,940	136,946	318,716
1/βの深さ			1/β(m)	3 872	4 656	1 626	3 016
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	11,483 0	14,969 0	10,265 0	13,403 0
	水平力		H_0(kN)	2,609 0	3,446 0	2,352 0	3,115 0
	モーメント		M_0(kN)	14,165 0	35,256 0	13,908 0	34,925 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0214	0 0205	0 0062	0 0137
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,148 3	1,496 9	684 3	2,233 8
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,182 9	2,077 1	908 0	2,871 8
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,331 2	3,574 0	1,592 3	5,105 7
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	-34 6	-580 2	-223 7	-638 0
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-350 0	-462 5	170 5	2,231 1
		地中部	M_{mF}(kN m)	147 9	270 3	216 3	2,415 1
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	350 0	462 5	216 3	2,415 1

【橋台・レベル 1 地震時，鋼管杭】

				A-01-SPP(回)	A-02-SPP(回)	A-03-SPP(回)	A-04-SPP(回)
N 値				4	4	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	25,535	25,535
杭径			D(m)	0 500	0 700	0 700	1 000
杭本数			n(本)	20	20	8	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	13,155	11,153	90,814	73,931
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	148,283	214,848	228,386	337,987
1/βの深さ			1/β(m)	2 848	3 781	2 169	2 874
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	11,682 0	19,834 0	9,378 0	16,356 0
	水平力		H_0(kN)	5,865 0	11,433 0	5,371 0	10,701 0
	モーメント		M_0(kN)	15,817 0	35,373 0	15,870 0	45,333 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0203	0 0245	0 0132	0 0176
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	584 1	991 7	1,172 3	2,044 5
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	975 2	1,646 1	1,852 3	3,316 1
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,559 3	2,637 8	3,024 5	5,360 6
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	-391 1	-654 4	-680 0	-1,271 6
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-292 7	-792 0	525 1	1,521 5
		地中部	M_{mF}(kN m)	121 2	301 9	856 3	2,370 4
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	292 7	792 0	856 3	2,370 4

【橋台・常時，鋼管杭】

				A-05-SPP(回)	A-06-SPP(回)	A-07-SPP(回)	A-08-SPP(回)
N 値				4	4	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	25,535	25,535
杭径			D(m)	0 900	0 900	0 800	1 200
杭本数			n(本)	6	12	5	5
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,234	6,526	58,827	44,265
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	253,488	265,450	244,245	413,068
1/βの深さ			1/β(m)	4 824	4 923	2 446	3 481
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	11,233 0	20,903 0	10,865 0	21,539 0
	水平力		H_0(kN)	2,304 0	4,775 0	2,304 0	4,595 0
	モーメント		M_0(kN)	1,711 0	5,345 0	3,488 0	13,205 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0189	0 0168	0 0074	0 0104
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,872 2	1,741 9	2,173 0	4,307 8
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	669 2	771 3	815 0	2,004 9
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,541 4	2,513 2	2,988 0	6,312 7
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	1,203 0	970 7	1,358 0	2,302 9
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-618 3	-762 9	-84 8	154 9
		地中部	M_{mF}(kN m)	279 7	259 2	310 9	1,133 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	618 3	762 9	310 9	1,133 7

3) 打込み杭工法

表-3.3.5 杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（打込み杭工法・鋼管杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，鋼管杭】

				P-01-SPP(打)	P-02-SPP(打)	P-03-SPP(打)	P-04-SPP(打)
N 値				2	2	16	16
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	21,600	21,600
杭径			D(m)	0 800	1 000	0 900	1 200
杭本数			n(本)	10	10	8	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	7,013	6,787	88,213	71,389
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	259,220	334,978	330,464	504,501
1/β の深さ			1/β (m)	3 855	4 481	2 174	2 866
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	11,831 0	15,433 0	11,396 0	15,244 0
	水平力		H_0(kN)	2,682 0	3,544 0	2,591 0	3,504 0
	モーメント		M_0(kN)	14,238 0	35,354 0	14,147 0	35,314 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0149	0 0147	0 0047	0 0060
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,183 1	1,543 3	1,424 5	1,905 5
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,076 1	1,705 7	1,173 5	2,297 2
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,259 2	3,249 0	2,598 0	4,202 7
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	107 0	-162 4	251 0	-391 7
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-412 7	-586 7	184 1	853 5
		地中部	M_{mF}(kN m)	133 8	220 2	358 7	1,077 4
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	412 7	586 7	358 7	1,077 4

【橋台・レベル 1 地震時，鋼管杭】

				A-01-SPP(打)	A-02-SPP(打)	A-03-SPP(打)	A-04-SPP(打)
N 値				3	3	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	25,535	25,535
杭径			D(m)	0 600	0 800	0 900	1 200
杭本数			n(本)	18	24	8	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	9,229	8,927	109,296	89,141
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	242,242	353,571	393,912	575,528
1/β の深さ			1/β (m)	3 277	4 079	2 225	2 874
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,578 0	24,222 0	11,334 0	20,022 0
	水平力		H_0(kN)	5,628 0	12,355 0	5,792 0	11,497 0
	モーメント		M_0(kN)	14,494 0	43,990 0	17,794 0	48,692 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0216	0 0204	0 0067	0 0084
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	587 7	1,009 3	1,416 8	2,002 2
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,078 3	1,529 4	1,629 3	2,883 2
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,666 0	2,538 7	3,046 1	4,885 4
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	-490 6	-520 2	-212 6	-881 0
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-380 9	-886 1	24 7	400 2
		地中部	M_{mF}(kN m)	141 4	257 8	535 5	1,337 8
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	380 9	886 1	535 5	1,337 8

【橋台・常時，鋼管杭】

				A-05-SPP(打)	A-06-SPP(打)	A-07-SPP(打)	A-08-SPP(打)
N 値				3	3	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	25,535	25,535
杭径			D(m)	0 800	0 900	0 800	1 200
杭本数			n(本)	10	15	10	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,169	5,021	60,726	46,100
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	304,427	388,933	287,698	459,922
1/β の深さ			1/β (m)	4 391	5 003	2 247	3 124
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,727 0	20,216 0	12,389 0	22,566 0
	水平力		H_0(kN)	2,304 0	4,775 0	2,125 0	4,595 0
	モーメント		M_0(kN)	2,988 0	3,097 0	5,441 0	14,092 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0160	0 0157	0 0035	0 0048
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,072 7	1,347 7	1,238 9	2,256 6
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	558 9	582 5	489 5	993 2
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,631 6	1,930 3	1,728 4	3,249 8
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	513 8	765 2	749 4	1,263 4
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-371 9	-706 2	-43 3	-130 3
		地中部	M_{mF}(kN m)	140 9	186 5	127 4	382 8
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	371 9	706 2	127 4	382 8

表-3.3.6　杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（打込み杭工法・SC 杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，SC 杭】

				P-01-SC(打)	P-04-SC(打)
N　値				2	12
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	13,856
杭　径			D(m)	0 800	0 800
杭　本　数			n(本)	8	9
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,322	62,504
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	380,908	465,351
1/βの深さ			1/β(m)	5 112	2 845
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,620 0	12,958 0
	水平力		H_0(kN)	3,338 0	3,803 0
	モーメント		M_0(kN)	15,654 0	41,967 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0217	0 0072
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,327 5	1,439 8
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,201 3	3,011 6
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,528 8	4,451 4
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	126 2	-1,571 8
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-926 3	246 0
		地中部	M_{mF}(kN m)	254 8	560 4
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	926 3	560 4

【橋台・レベル 1 地震時，SC 杭】

				A-01-SC(打)	A-04-SC(打)
N　値				2	25
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	30,187
杭　径			D(m)	0 600	0 700
杭　本　数			n(本)	10	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	4,131	155,075
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	296,918	418,046
1/βの深さ			1/β(m)	4 683	2 041
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	8,008 0	12,474 0
	水平力		H_0(kN)	3,986 0	8,134 0
	モーメント		M_0(kN)	7,347 0	26,894 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0388	0 0066
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	800 8	1,247 4
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	937 2	1,846 5
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	1,738 0	3,093 9
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-136 4	-599 1
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-811 6	-172 7
		地中部	M_{mF}(kN m)	222 8	430 0
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	811 6	430 0

【橋台・常時，SC 杭】

				A-05-SC(打)	A-08-SC(打)
N　値				2	25
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	30,187
杭　径			D(m)	0 600	0 700
杭　本　数			n(本)	10	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	2,635	78,183
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	264,075	393,269
1/βの深さ			1/β(m)	4 999	2 367
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	8,316 0	14,144 0
	水平力		H_0(kN)	1,833 0	4,369 0
	モーメント		M_0(kN)	353 0	10,850 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0248	0 0070
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	831 6	1,768 0
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	279 9	1,210 1
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	1,111 5	2,978 1
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	551 7	557 9
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-426 5	-216 9
		地中部	M_{mF}(kN m)	102 3	289 9
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	426 5	289 9

表-3.3.7　杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（打込み杭工法・PHC 杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，PHC 杭】

				P-01-PHC(打)	P-04-PHC(打)
N　値				2	12
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	13,856
杭　径			D(m)	0 800	0 800
杭　本　数			n(本)	12	12
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	7,539	64,756
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	428,477	484,404
1/β の深さ			1/β (m)	4 433	2 589
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,620 0	13,419 0
	水平力		H_0(kN)	3,137 0	3,980 0
	モーメント		M_0(kN)	14,448 0	42,143 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0113	0 0053
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	885 0	1,118 3
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	951 9	2,349 3
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	1,836 9	3,467 6
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-66 9	-1,231 1
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-488 2	66 2
		地中部	M_{mF}(kN m)	142 5	321 1
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	488 2	321 1
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布（=1：正曲げ,=2：負曲げ）			1	2
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 868	
		せん断スパンa②(l_m-M/S)		4 403	
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)			1 849

【橋台・レベル 1 地震時，PHC 杭】

				A-01-PHC(打)	A-04-PHC(打)
N　値				3	25
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	30,187
杭　径			D(m)	0 800	1 000
杭　本　数			n(本)	10	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	11,084	124,257
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	440,324	630,753
1/β の深さ			1/β (m)	4 025	2 579
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	8,172 0	12,759 0
	水平力		H_0(kN)	3,611 0	7,572 0
	モーメント		M_0(kN)	7,063 0	26,149 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0128	0 0054
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	817 2	1,275 9
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	854 8	1,864 7
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	1,672 0	3,140 6
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-37 6	-588 8
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-533 2	284 1
		地中部	M_{mF}(kN m)	202 8	824 9
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	533 2	824 9
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布（=1：正曲げ,=2：負曲げ）			1	2
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 477	
		せん断スパンa②(l_m-M/S)		3 799	
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)			1 700

【橋台・常時，PHC 杭】

				A-05-PHC(打)	A-08-PHC(打)
N 値				3	25
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	30,187
杭径			D(m)	0 800	1 000
杭本数			n(本)	10	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,795	62,129
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	440,324	630,753
1/β の深さ			1/β (m)	4 549	3 067
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	8,522 0	13,560 0
	水平力		H_0(kN)	1,833 0	4,569 0
	モーメント		M_0(kN)	973 0	11,407 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0085	0 0055
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	852 2	1,695 0
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	311 6	1,265 8
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,163 8	2,960 8
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	540 6	429 2
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-354 5	-156 3
		地中部	M_{mF}(kN m)	101 7	468 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	354 5	468 7
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 934	0 274
		せん断スパンa②($l_m - M/S$)		4 536	2 435
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)			

4) 中掘り杭工法

表-3.3.8 杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（中掘り杭工法・鋼管杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，鋼管杭】

				P-01-SPP(中)	P-04-SPP(中)
N 値				2	12
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	13,856
杭径			D(m)	0 600	0 600
杭本数			n(本)	12	12
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,649	67,858
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	170,017	184,943
1/βの深さ			1/β(m)	3 790	2 154
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	11,561 0	13,742 0
	水平力		H_0(kN)	3,137 0	3,891 0
	モーメント		M_0(kN)	14,448 0	42,055 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0232	0 0080
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	963 4	1,145 2
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	863 2	2,140 1
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,826 6	3,285 2
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	100 2	-994 9
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-426 5	56 7
		地中部	M_{mF}(kN m)	119 4	263 1
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	426 5	263 1

【橋台・レベル 1 地震時，鋼管杭】

				A-01-SPP(中)	A-04-SPP(中)
N 値				2	18
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	16,971
杭径			D(m)	0 600	0 800
杭本数			n(本)	16	12
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,862	90,159
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	148,133	318,963
1/βの深さ			1/β(m)	3 481	2 437
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	8,043 0	14,023 0
	水平力		H_0(kN)	3,856 0	8,382 0
	モーメント		M_0(kN)	6,387 0	31,920 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0229	0 0099
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	502 7	1,168 6
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	454 4	1,865 6
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	957 0	3,034 2
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	48 3	-697 0
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-350 5	421 3
		地中部	M_{mF}(kN m)	104 0	849 0
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	350 5	849 0

【橋台・常時，鋼管杭】

				A-05-SPP(中)	A-08-SPP(中)
N 値				3	18
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	16,971
杭径			D(m)	0 600	0 800
杭本数			n(本)	18	12
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,060	49,320
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	139,680	291,199
1/βの深さ			1/β(m)	3 714	2 707
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,191 0	14,113 0
	水平力		H_0(kN)	3,034 0	5,718 0
	モーメント		M_0(kN)	4,110 0	14,837 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0184	0 0086
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	566 2	1,176 1
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	426 7	1,068 9
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	992 9	2,245 0
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	139 5	107 2
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-241 0	-46 2
		地中部	M_{mF}(kN m)	83 7	386 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	241 0	386 7

表-3.3.9　杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（中掘り杭工法・SC 杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，SC 杭】

				P-01-SC(中)	P-02-SC(中)	P-03-SC(中)	P-04-SC(中)
N　値				2	2	14	14
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	19,542	19,542
杭　　径			D(m)	0 700	0 900	0 600	1 000
杭　本　数			n(本)	10	10	15	9
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,316	6,237	93,089	64,915
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	261,698	353,291	205,428	397,570
1/βの深さ			1/β(m)	4 326	5 105	1 978	3 104
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,659 0	13,822 0	10,343 0	13,457 0
	水平力		H_0(kN)	2,609 0	3,446 0	2,508 0	3,329 0
	モーメント		M_0(kN)	14,165 0	35,256 0	14,064 0	35,139 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0167	0 0156	0 0038	0 0051
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,065 9	1,382 2	689 5	1,495 2
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,028 2	1,785 8	777 3	2,078 2
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,094 1	3,168 0	1,466 8	3,573 4
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	37 7	-403 6	-87 8	-583 0
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-438 8	-617 4	82 6	440 7
		地中部	M_{mF}(kN m)	149 6	254 9	165 5	696 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	438 8	617 4	165 5	696 7

【橋台・レベル 1 地震時，SC 杭】

				A-01-SC(中)	A-02-SC(中)	A-03-SC(中)	A-04-SC(中)
N　値				4	4	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	25,535	25,535
杭　　径			D(m)	1 000	1 100	0 800	1 100
杭　本　数			n(本)	8	14	8	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	11,947	11,939	110,718	87,627
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	393,772	443,467	332,870	508,402
1/βの深さ			1/β(m)	4 834	5 195	2 419	3 282
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	13,066 0	22,584 0	9,289 0	15,094 0
	水平力		H_0(kN)	6,515 0	12,478 0	5,554 0	10,683 0
	モーメント		M_0(kN)	14,567 0	43,074 0	16,282 0	40,332 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0183	0 0175	0 0076	0 0106
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,633 3	1,613 1	1,161 1	1,886 8
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,708 6	2,219 4	1,448 7	2,785 1
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	3,341 9	3,832 6	2,609 8	4,671 8
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-75 4	-606 3	-287 6	-898 3
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-1,382 8	-1,520 7	296 8	1,142 4
		地中部	M_{mF}(kN m)	570 0	708 2	747 8	2,230 4
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	1,382 8	1,520 7	747 8	2,230 4

【橋台・常時，SC 杭】

				A-05-SC(中)	A-06-SC(中)	A-07-SC(中)	A-08-SC(中)
N　値				3	3	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	25,535	25,535
杭　　径			D(m)	0 600	1 000	0 800	0 800
杭　本　数			n(本)	18	12	8	14
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,161	4,628	56,558	56,122
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	227,372	418,214	304,049	311,578
1/βの深さ			1/β(m)	4 169	6 007	2 717	2 773
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	9,073 0	19,965 0	8,452 0	15,057 0
	水平力		H_0(kN)	3,034 0	4,775 0	3,034 0	4,775 0
	モーメント		M_0(kN)	5,564 0	2,481 0	5,822 0	13,515 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0160	0 0164	0 0061	0 0063
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	504 1	1,663 8	1,056 5	1,075 5
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	528 6	735 3	816 9	960 5
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	1,032 6	2,399 1	1,873 4	2,036 0
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-24 5	928 4	239 6	115 0
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-272 3	-1,018 8	-7 4	142 0
		地中部	M_{mF}(kN m)	93 4	290 8	327 4	402 8
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	272 3	1,018 8	327 4	402 8

表-3.3.10　杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（中掘り杭工法・PHC 杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，PHC 杭】

				P-01-PHC(中)	P-02-PHC(中)	P-03-PHC(中)	P-04-PHC(中)
N　値				2	2	13	13
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	18,485	18,485
杭　　径			D(m)	0 700	0 900	0 500	0 700
杭　本　数			n(本)	10	10	20	20
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,302	6,230	98,565	77,740
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	249,238	345,818	152,067	236,250
1/βの深さ			1/β(m)	4 217	5 055	1 673	2 250
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,659 0	13,822 0	10,429 0	13,860 0
	水平力		H_0(kN)	2,609 0	3,446 0	2,535 0	3,458 0
	モーメント		M_0(kN)	14,165 0	35,256 0	14,091 0	35,268 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0171	0 0158	0 0027	0 0033
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,065 9	1,382 2	521 5	693 0
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,022 7	1,783 3	526 1	1,093 9
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,088 6	3,165 5	1,047 6	1,786 9
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	43 2	-401 1	-4 7	-400 9
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-428 9	-611 6	-26 2	61 8
		地中部	M_{mF}(kN m)	145 4	252 4	52 6	168 1
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	428 9	611 6	52 6	168 1
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1	1	2
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 644	1 775	0 207	
		せん断スパンa②(l_m-M/S)		4 066	4 703	1 341	
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)					1 461

【橋台・レベル 1 地震時，PHC 杭】

				A-01-PHC(中)	A-02-PHC(中)	A-03-PHC(中)	A-04-PHC(中)
N　値				4	4	18	18
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	23,595	23,595
杭　　径			D(m)	0 900	1 200	0 800	1 200
杭　本　数			n(本)	11	14	10	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	13,845	12,440	101,292	75,967
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	292,950	408,001	271,605	452,177
1/βの深さ			1/β(m)	4 141	5 226	2 315	3 324
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	12,205 0	24,038 0	9,037 0	17,372 0
	水平力		H_0(kN)	6,305 0	12,864 0	5,500 0	11,269 0
	モーメント		M_0(kN)	13,983 0	43,050 0	15,220 0	43,620 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0148	0 0162	0 0068	0 0091
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,109 5	1,717 0	903 7	1,737 2
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,210 6	2,100 8	1,095 0	2,271 8
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,320 1	3,817 8	1,998 7	4,009 0
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-101 0	-383 8	-191 3	-534 6
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-797 8	-1,501 8	208 0	840 7
		地中部	M_{mF}(kN m)	356 3	762 6	554 4	1,802 2
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	797 8	1,501 8	554 4	1,802 2
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1	2	2
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 392	1 634		
		せん断スパンa②(l_m-M/S)		3 801	4 702		
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)				1 495	2 008

【橋台・常時，PHC 杭】

				A-05-PHC(中)	A-06-PHC(中)	A-07-PHC(中)	A-08-PHC(中)
N 値				3	3	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	25,535	25,535
杭径			D(m)	0 600	1 000	0 900	1 200
杭本数			n(本)	24	15	8	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,286	5,512	52,336	42,666
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	180,096	322,532	351,835	513,071
1/β の深さ			1/β (m)	3 784	5 620	2 970	3 840
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	9,073 0	18,879 0	9,282 0	21,887 0
	水平力		H_0(kN)	3,034 0	4,775 0	3,034 0	4,775 0
	モーメント		M_0(kN)	5,564 0	-506 0	6,351 0	18,077 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0112	0 0118	0 0048	0 0051
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	378 0	1,258 6	1,160 3	2,188 7
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	370 3	437 0	678 8	1,106 9
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	748 4	1,695 6	1,839 0	3,295 6
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	7 7	821 6	481 5	1,081 8
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-175 5	-762 0	-122 4	92 0
		地中部	M_{mF}(kN m)	66 7	217 8	288 7	651 9
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	175 5	762 0	288 7	651 9
せん断スパン a (m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1	1	2
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 388	2 394	0 323	
		せん断スパンa②($l_m - M/S$)		3 571	5 608	2 370	
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)					2 833

5) プレボーリング杭工法

表-3.3.11　杭頭鉛直反力, 杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（プレボーリング杭工法・SC 杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，SC 杭】

				P-01-SC(プ)	P-02-SC(プ)	P-03-SC(プ)	P-04-SC(プ)
N 値				2	2	13	13
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	18,485	18,485
杭　径			D(m)	0 800	1 000	0 800	1 100
杭　本　数			n(本)	8	8	6	6
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,277	6,276	69,779	54,985
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	530,793	733,932	562,117	943,024
1/β の深さ			1/β (m)	4 795	5 623	2 626	3 605
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,890 0	13,995 0	9,968 0	13,112 0
	水平力		H_0(kN)	2,682 0	3,501 0	2,388 0	3,219 0
	モーメント		M_0(kN)	14,238 0	35,311 0	13,944 0	35,029 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0159	0 0145	0 0062	0 0073
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,361 3	1,749 4	1,661 3	2,185 3
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,389 5	2,303 3	1,807 7	3,513 8
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,750 8	4,052 7	3,469 0	5,699 1
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-28 3	-553 9	-146 3	-1,328 4
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-690 6	-1,024 4	154 8	918 9
		地中部	M_{mF}(kN m)	194 1	306 1	443 5	1,319 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	690 6	1,024 4	443 5	1,319 7

【橋台・レベル 1 地震時，SC 杭】

				A-01-SC(プ)	A-02-SC(プ)	A-03-SC(プ)	A-04-SC(プ)
N 値				4	4	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	25,535	25,535
杭　径			D(m)	0 800	1 200	0 700	1 000
杭　本　数			n(本)	12	12	8	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	14,112	12,425	112,401	92,913
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	552,772	956,186	602,498	945,811
1/β の深さ			1/β (m)	4 006	5 492	2 301	3 088
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	12,353 0	23,440 0	8,429 0	14,212 0
	水平力		H_0(kN)	6,313 0	12,611 0	5,344 0	10,473 0
	モーメント		M_0(kN)	18,051 0	43,848 0	15,352 0	40,804 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0142	0 0156	0 0079	0 0096
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,029 4	1,953 3	1,053 6	1,776 5
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,583 0	2,913 0	2,304 2	3,894 7
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,612 4	4,866 3	3,357 9	5,671 2
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-553 6	-959 7	-1,250 6	-2,118 2
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-817 5	-2,269 1	104 4	232 2
		地中部	M_{mF}(kN m)	279 9	757 3	565 1	1,457 2
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	817 5	2,269 1	565 1	1,457 2

【橋台・常時，SC 杭】

				A-05-SC(プ)	A-06-SC(プ)	A-07-SC(プ)	A-08-SC(プ)
N 値				3	3	20	20
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	25,535	25,535
杭径			D(m)	0 600	1 000	0 700	1 000
杭本数			n(本)	18	12	8	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	5,685	4,799	61,515	48,111
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	370,315	743,964	482,569	756,328
$1/\beta$ の深さ			$1/\beta$ (m)	4 069	6 013	2 482	3 345
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	9,553 0	20,400 0	8,048 0	15,773 0
	水平力		H_0(kN)	2,843 0	4,775 0	2,843 0	4,775 0
	モーメント		M_0(kN)	5,843 0	3,827 0	5,551 0	12,610 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0132	0 0151	0 0058	0 0069
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	530 7	1,700 0	1,006 0	1,971 6
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	541 0	838 6	1,020 4	1,821 1
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,071 7	2,538 6	2,026 4	3,792 7
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	-10 3	861 4	-14 4	150 6
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-270 5	-1,078 7	-109 7	-131 0
		地中部	M_{mF}(kN m)	79 1	275 6	218 4	562 2
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	270 5	1,078 7	218 4	562 2

表-3.3.12　杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（プレボーリング杭工法･PHC杭）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，PHC 杭】

				P-01-PHC(ﾌﾟ)	P-02-PHC(ﾌﾟ)	P-03-PHC(ﾌﾟ)	P-04-PHC(ﾌﾟ)
N　値				2	2	13	13
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	18,485	18,485
杭　径			D(m)	0 800	0 900	0 600	0 800
杭　本　数			n(本)	8	10	10	10
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	6,244	6,688	86,678	70,735
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	486,651	579,406	339,826	514,309
1/βの深さ			1/β(m)	4 646	4 967	1 964	2 533
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	10,890 0	13,822 0	10,083 0	13,419 0
	水平力		H_0(kN)	2,682 0	3,446 0	2,425 0	3,317 0
	モーメント		M_0(kN)	14,238 0	35,256 0	13,981 0	35,127 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0165	0 0137	0 0043	0 0046
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,361 3	1,382 2	1,008 3	1,341 9
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,376 9	1,819 2	1,094 0	2,003 3
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	2,738 2	3,201 4	2,102 3	3,345 2
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-15 7	-437 0	-85 7	-661 4
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-668 1	-695 0	-46 0	-13 1
		地中部	M_{mF}(kN m)	188 3	218 0	125 4	262 4
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	668 1	695 0	125 4	262 4
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1	1	1
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 993	2 017	0 190	0 040
		せん断スパンa②(l_m-M/S)		4 649	4 863	1 562	1 990
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)					

【橋台・レベル 1 地震時，PHC 杭】

				A-01-PHC(ﾌﾟ)	A-02-PHC(ﾌﾟ)	A-03-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)
N　値				4	4	18	18
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	23,595	23,595
杭　径			D(m)	1 000	1 200	1 000	1 200
杭　本　数			n(本)	11	15	6	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	15,183	14,222	86,475	75,967
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	629,168	805,382	706,177	898,976
1/βの深さ			1/β(m)	4 362	5 054	2 824	3 324
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	14,578 0	24,473 0	10,150 0	16,410 0
	水平力		H_0(kN)	6,843 0	12,955 0	5,765 0	10,984 0
	モーメント		M_0(kN)	22,603 0	45,361 0	17,212 0	41,520 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0117	0 0124	0 0077	0 0087
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,325 3	1,631 5	1,691 7	2,051 3
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,690 2	2,306 3	2,345 4	3,474 0
	押込み側	最　大	$P_{N\max}$(kN)	3,015 5	3,937 8	4,037 1	5,525 3
	引抜き側	最　小	$P_{N\min}$(kN)	-364 9	-674 7	-653 8	-1,422 8
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭　頭	M_t(kN m)	-1,018 3	-1,665 3	-63 1	-194 7
		地中部	M_{mF}(kN m)	371 3	588 3	834 5	1,348 7
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	1,018 3	1,665 3	834 5	1,348 7
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1	1	1
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		1 637	1 928	0 066	0 142
		せん断スパンa②(l_m-M/S)		4 149	4 835	2 219	2 617
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)					

【橋台・常時，PHC 杭】

				A-05-PHC(プ)	A-06-PHC(プ)	A-07-PHC(プ)	A-08-PHC(プ)
N 値				3	3	18	18
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	6,928	6,928	23,595	23,595
杭径			D(m)	0 900	1 100	1 100	0 800
杭本数			n(本)	10	12	5	14
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	4,880	5,459	40,408	50,647
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	534,772	702,305	835,997	536,137
1/βの深さ			1/β(m)	5 374	6 032	3 657	2 753
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	8,656 0	20,861 0	9,694 0	17,408 0
	水平力		H_0(kN)	3,034 0	4,775 0	3,034 0	4,595 0
	モーメント		M_0(kN)	4,116 0	-4,760 0	5,264 0	12,663 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0157	0 0116	0 0059	0 0054
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	865 6	1,738 4	1,938 8	1,243 4
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	773 5	383 5	1,364 8	1,143 9
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,639 1	2,121 9	3,303 6	2,387 3
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	92 1	1,355 0	574 0	99 6
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-632 7	-1,138 0	-475 8	-76 0
		地中部	M_{mF}(kN m)	216 5	263 0	446 3	244 5
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	632 7	1,138 0	475 8	244 5
せん断スパン a(m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布 (=1：正曲げ,=2：負曲げ)			1	1	1	1
	正曲げ	せん断スパンa①(M/S)		2 085	2 860	0 784	0 231
		せん断スパンa②($l_m - M/S$)		5 172	6 303	3 062	2 183
	負曲げ	せん断スパンa③(l_m)					

6) 場所打ち杭工法

表-3.3.13 杭頭鉛直反力，杭頭水平変位及び発生曲げモーメント（場所打ち杭工法）の設計値

【橋脚・レベル 1 地震時，場所打ち杭】

				P-01-CCP	P-02-CCP	P-03-CCP	P-04-CCP
N 値				2	2	12	12
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	5,657	5,657	17,408	17,408
杭径			D(m)	1 150	1 500	1 150	1 550
杭本数			n(本)	8	8	6	6
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	7,000	5,775	50,551	40,725
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	559,562	726,325	632,465	836,257
1/βの深さ			1/β(m)	5 715	7 319	3 486	4 603
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	11,581 0	15,473 0	10,842 0	14,532 0
	水平力		H_0(kN)	2,903 0	3,972 0	2,667 0	3,672 0
	モーメント		M_0(kN)	14,459 0	35,782 0	14,223 0	35,482 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0092	0 0095	0 0046	0 0057
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,447 6	1,934 1	1,807 0	2,422 0
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,106 3	1,851 1	1,424 2	2,530 4
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,553 9	3,785 2	3,231 2	4,952 4
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	341 3	83 0	382 8	-108 4
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-866 2	-1,440 6	91 8	979 5
		地中部	M_{mF}(kN m)	257 2	473 1	560 4	1,627 1
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	866 2	1,440 6	560 4	1,627 1

【橋台・レベル 1 地震時，場所打ち杭】

				A-01-CCP	A-02-CCP	A-03-CCP	A-04-CCP
N 値				4	4	15	15
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	20,579	20,579
杭径			D(m)	1 000	1 200	0 900	1 250
杭本数			n(本)	12	15	8	8
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	16,642	14,584	77,224	60,875
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	532,597	633,633	360,447	507,732
1/βの深さ			1/β(m)	4 144	4 911	2 609	3 543
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	13,066 0	21,215 0	10,024 0	16,858 0
	水平力		H_0(kN)	6,515 0	12,271 0	5,737 0	11,104 0
	モーメント		M_0(kN)	14,567 0	30,147 0	16,643 0	38,997 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0098	0 0117	0 0080	0 0106
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,088 8	1,414 3	1,253 0	2,107 3
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	1,238 1	1,746 1	1,520 0	2,714 1
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	2,327 0	3,160 4	2,773 0	4,821 4
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	-149 3	-331 7	-267 0	-606 9
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-849 6	-1,540 5	28 4	124 9
		地中部	M_{mF}(kN m)	306 1	539 1	621 7	1,666 8
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	849 6	1,540 5	621 7	1,666 8

【橋台・常時，場所打ち杭】

				A-05-CCP	A-06-CCP	A-07-CCP	A-08-CCP
N 値				4	4	19	19
地盤の基準変形係数			E_0(kN/m^2)	8,000	8,000	24,571	24,571
杭径			D(m)	1 150	1 250	0 900	1 000
杭本数			n(本)	8	12	8	12
水平方向地盤反力係数			k_H(kN/m^3)	7,520	7,079	50,119	46,438
軸方向バネ定数			K_V(kN/m)	608,540	658,647	391,315	434,447
1/βの深さ			1/β(m)	5 613	6 066	2 907	3 206
杭群中心での外力	鉛直力		V_0(kN)	9,480 0	21,177 0	9,073 0	15,600 0
	水平力		H_0(kN)	3,034 0	5,146 0	3,034 0	5,146 0
	モーメント		M_0(kN)	1,943 0	-8,908 0	5,564 0	13,997 0
杭頭変位	水平変位		δ_x(m)	0 0097	0 0083	0 0047	0 0057
鉛直反力	鉛直力による反力(V_0/n)		$P_{N(V0)}$(kN)	1,185 0	1,764 8	1,134 1	1,300 0
	水平力の影響による反力		$P_{N(H0)}$(kN)	656 0	232 9	665 2	948 4
	押込み側	最大	$P_{N\max}$(kN)	1,841 0	1,997 7	1,799 3	2,248 4
	引抜き側	最小	$P_{N\min}$(kN)	529 0	1,531 8	469 0	351 6
杭体設計用最大曲げモーメント	杭頭剛結	杭頭	M_t(kN m)	-806 8	-1,247 0	-202 5	-19 1
		地中部	M_{mF}(kN m)	288 7	282 0	238 4	431 1
	設計最大(ヒンジ無視)		M_{d2}(kN m)	806 8	1,247 0	238 4	431 1

(2) 鋼管ソイルセメント杭及び鋼管杭の圧縮応力度

表-3.3.14 鋼管ソイルセメント杭の曲げ応力度の設計値

項 目		記 号	単 位	P-01-SPSC	P-04-SPSC	A-01-SPSC	A-04-SPSC	A-05-SPSC	A-08-SPSC
断面諸元	杭 径	D	mm	700.0	1200.0	600.0	1100.0	1000.0	1100.0
	板 厚	t	mm	13.0	20.0	18.0	16.0	13.0	18.0
	腐食代	$\triangle t$	mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	純断面積	A	mm^2	2.586E+4	7.037E+4	3.103E+4	5.104E+4	3.717E+4	5.773E+4
	断面二次モーメント	I	mm^4	1.522E+9	1.223E+10	1.310E+9	7.484E+9	4.518E+9	8.435E+9
	断面係数	Z_e	mm^3	4.360E+6	2.042E+7	4.383E+6	1.363E+7	9.054E+6	1.536E+7
	塑性断面係数	Z_p	mm^3	5.648E+6	2.641E+7	5.740E+6	1.759E+7	1.167E+7	1.987E+7
応力度の照査	軸 力	N	kN	2617.5	7434.9	2337.1	7001.8	2556.6	7024.1
	曲げモーメント	M	kN･m	418.4 杭頭曲げ	2054.5 地中部曲げ	578.5 杭頭曲げ	1619.6 地中部曲げ	608.2 杭頭曲げ	842.7 地中部曲げ
	応力度 1：＋M側，2：－M側	σ_1	N/mm^2	197.2	206.3	207.3	256.0	136.0	176.5
		σ_2	N/mm^2	5.3	5.0	-56.7	18.4	1.6	66.8
	許容応力度 SKK400:140, SKK490:185	σ_a	N/mm^2	210.0	210.0	210.0	277.0	140.0	185.0
		σ_a'	N/mm^2	-210.0	-210.0	-210.0	-277.0	-140.0	-185.0
	抵抗曲げモーメント	M_r	kN･m	474.4	2130.8	590.3	1905.8	644.8	973.1

表-3.3.15 鋼管杭（回転杭工法）の曲げ応力度の設計値

項 目		記 号	単 位	P-01-SPP(回)	P-04-SPP(回)	A-01-SPP(回)	A-04-SPP(回)	A-05-SPP(回)	A-08-SPP(回)
断面諸元	杭 径	D	mm	700.0	1000.0	500.0	1000.0	900.0	1200.0
	板 厚	t	mm	10.0	18.0	13.0	18.0	15.0	16.0
	腐食代	$\triangle t$	mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	純断面積	A	mm^2	1.948E+4	5.239E+4	1.832E+4	5.239E+4	3.888E+4	5.575E+4
	断面二次モーメント	I	mm^4	1.156E+9	6.304E+9	5.413E+8	6.304E+9	3.799E+9	9.754E+9
	断面係数	Z_e	mm^3	3.313E+6	1.263E+7	2.174E+6	1.263E+7	8.461E+6	1.628E+7
	塑性断面係数	Z_p	mm^3	4.273E+6	1.636E+7	2.835E+6	1.636E+7	1.094E+7	2.099E+7
応力度の照査	軸 力	N	kN	2331.2	5105.7	1559.3	5360.6	2541.4	6312.7
	曲げモーメント	M	kN･m	350.0 杭頭曲げ	2415.1 地中部曲げ	292.7 杭頭曲げ	2370.4 地中部曲げ	618.3 杭頭曲げ	1133.7 地中部曲げ
	応力度 1：＋M側，2：－M側	σ_1	N/mm^2	225.3	288.6	219.8	289.9	138.4	182.9
		σ_2	N/mm^2	14.0	-93.7	-49.5	-85.3	-7.7	43.6
	許容応力度 SKK400:140, SKK490:185	σ_a	N/mm^2	210.0	277.0	210.0	277.0	140.0	185.0
		σ_a'	N/mm^2	-210.0	-277.0	-210.0	-277.0	-140.0	-185.0
	抵抗曲げモーメント	M_r	kN･m	299.3	2268.4	271.5	2207.0	631.5	1168.6

表-3.3.16 鋼管杭（打込み杭工法）の曲げ応力度の設計値

項 目		記 号	単 位	P-01-SPP(打)	P-04-SPP(打)	A-01-SPP(打)	A-04-SPP(打)	A-05-SPP(打)	A-08-SPP(打)
断面諸元	杭 径	D	mm	800.0	1200.0	600.0	1200.0	800.0	1200.0
	板 厚	t	mm	9.0	12.0	11.0	15.0	11.0	11.0
	腐食代	$\triangle t$	mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	純断面積	A	mm^2	1.985E+4	4.102E+4	1.847E+4	5.208E+4	2.476E+4	3.732E+4
	断面二次モーメント	I	mm^4	1.549E+9	7.225E+9	7.986E+8	9.126E+9	1.922E+9	6.585E+9
	断面係数	Z_e	mm^3	3.882E+6	1.206E+7	2.671E+6	1.524E+7	4.817E+6	1.099E+7
	塑性断面係数	Z_p	mm^3	4.993E+6	1.550E+7	3.458E+6	1.963E+7	6.210E+6	1.411E+7
応力度の照査	軸 力	N	kN	2259.2	4202.7	1666.0	4885.4	1631.6	3249.8
	曲げモーメント	M	kN･m	412.7 杭頭曲げ	1077.4 地中部曲げ	380.9 杭頭曲げ	1337.8 地中部曲げ	371.9 杭頭曲げ	382.8 地中部曲げ
	応力度 1：＋M側，2：－M側	σ_1	N/mm^2	220.1	191.8	232.8	181.6	143.1	121.9
		σ_2	N/mm^2	7.5	13.1	-52.4	6.0	-11.3	52.3
	許容応力度 SKK400:140, SKK490:185	σ_a	N/mm^2	210.0	210.0	210.0	210.0	140.0	140.0
		σ_a'	N/mm^2	-210.0	-210.0	-210.0	-210.0	-140.0	-140.0
	抵抗曲げモーメント	M_r	kN･m	373.5	1297.2	320.0	1770.2	356.9	581.8

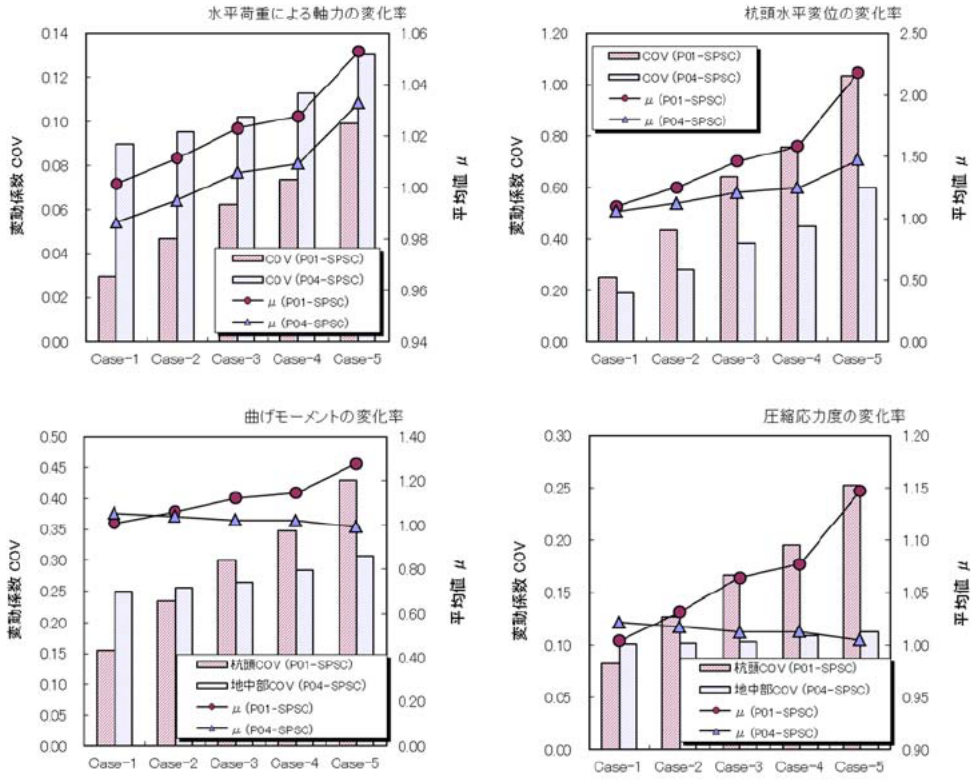
表-3.3.17　鋼管杭（中掘り杭工法）の曲げ応力度の設計値

項　目		記 号	単 位	P-01-SPP(中)	P-04-SPP(中)	A-01-SPP(中)	A-04-SPP(中)	A-05-SPP(中)	A-08-SPP(中)
断面諸元	杭　径	D	mm	600.0	600.0	600.0	800.0	600.0	800.0
	板　厚	t	mm	12.0	15.0	9.0	18.0	10.0	15.0
	腐食代	$\triangle t$	mm	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	純断面積	A	mm^2	2.029E+4	2.569E+4	1.483E+4	4.171E+4	1.665E+4	3.448E+4
	断面二次モーメント	I	mm^4	8.740E+8	1.096E+9	6.453E+8	3.182E+9	7.224E+8	2.650E+9
	断面係数	Z_e	mm^3	2.923E+6	3.664E+6	2.158E+6	7.974E+6	2.416E+6	6.642E+6
	塑性断面係数	Z_p	mm^3	3.791E+6	4.776E+6	2.785E+6	1.037E+7	3.123E+6	8.606E+6
応力度の照査	軸　力	N	kN	1826.6	3285.2	957.0	3034.2	992.9	2245.0
	曲げモーメント	M	kN･m	426.5 杭頭曲げ	263.1 地中部曲げ	350.5 杭頭曲げ	849.0 地中部曲げ	241.0 杭頭曲げ	386.7 地中部曲げ
	応力度 1：＋M側，2：－M側	σ_1	N/mm^2	236.0	199.7	226.9	179.2	159.4	123.3
		σ_2	N/mm^2	-55.9	56.1	-97.9	-33.7	-40.1	6.9
	許容応力度 SKK400:140, SKK490:185	σ_a	N/mm^2	210.0	210.0	210.0	210.0	140.0	140.0
		σ_a'	N/mm^2	-210.0	-210.0	-210.0	-210.0	-140.0	-140.0
	抵抗曲げモーメント	M_r	kN･m	350.6	300.8	314.0	1094.5	194.2	497.4

3.3.4　応答値の不確実性の統計量

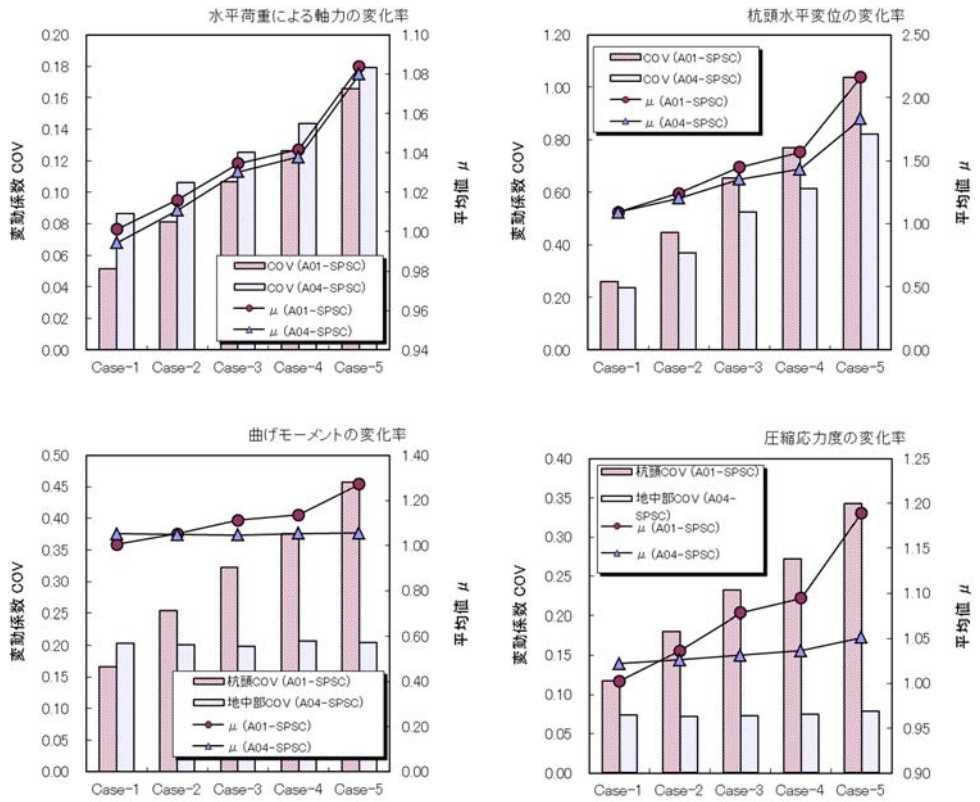
応答値の不確実性は，3.3.2(1)で示したように 1000 個のサンプル計算値と設計値の比による変化率で評価する。本節では，応答値の不確実性の統計量として水平荷重による杭頭鉛直反力の変化率 p_N の統計量，着目位置での曲げモーメントの変化率 p_M の統計量及び杭頭水平変位の変化率の統計量 p_d をグラフ化し，図-3.3.3～図-3.3.35 に示す。各試算対象基礎のサンプル計算値は付属資料 2 に示す。

(1)　鋼管ソイルセメント杭工法



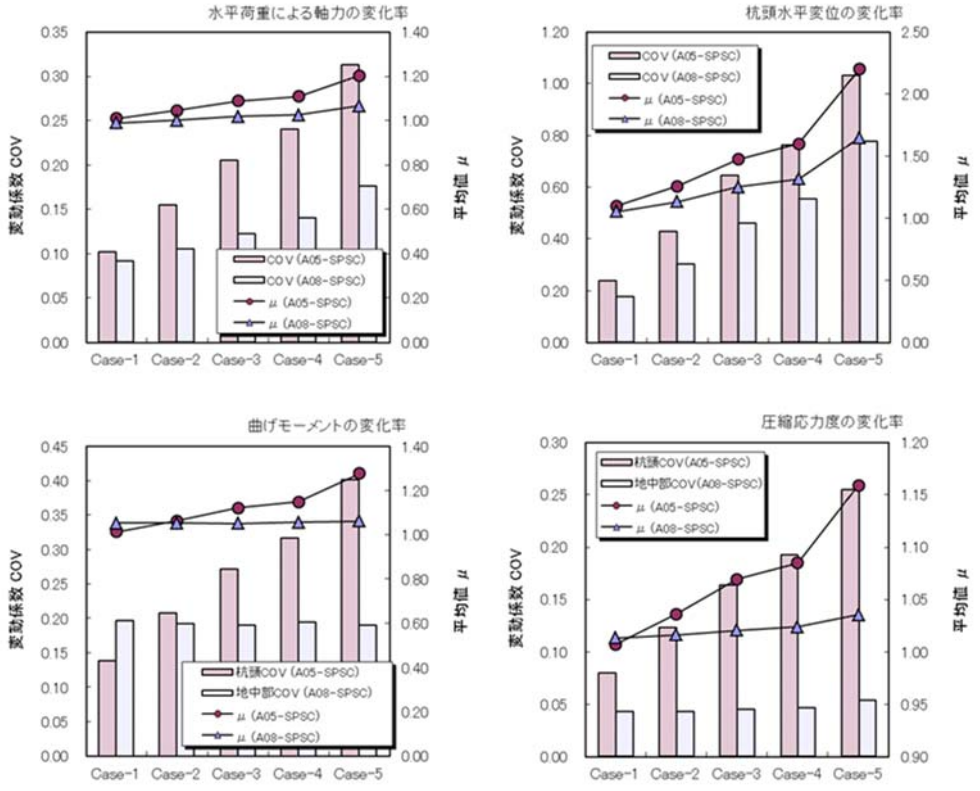
(a)　橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.3　鋼管ソイルセメント杭工法の変化率の統計量



(b)　橋台・レベル 1 地震時

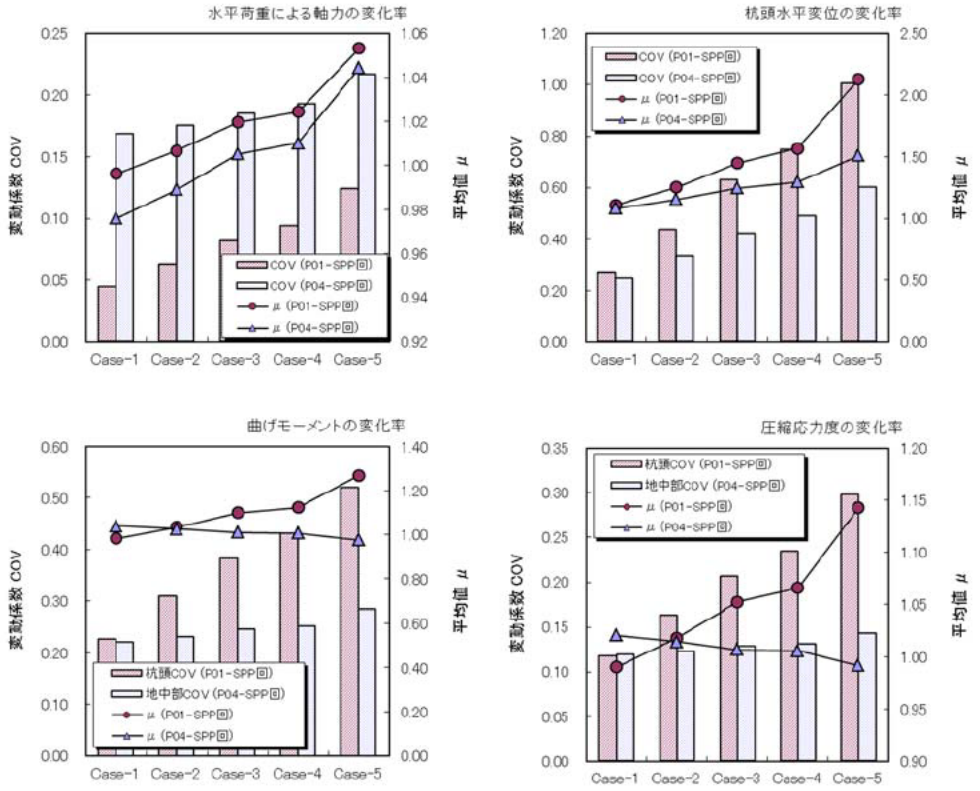
図-3.3.4　鋼管ソイルセメント杭工法の変化率の統計量



(c)　橋台・常時

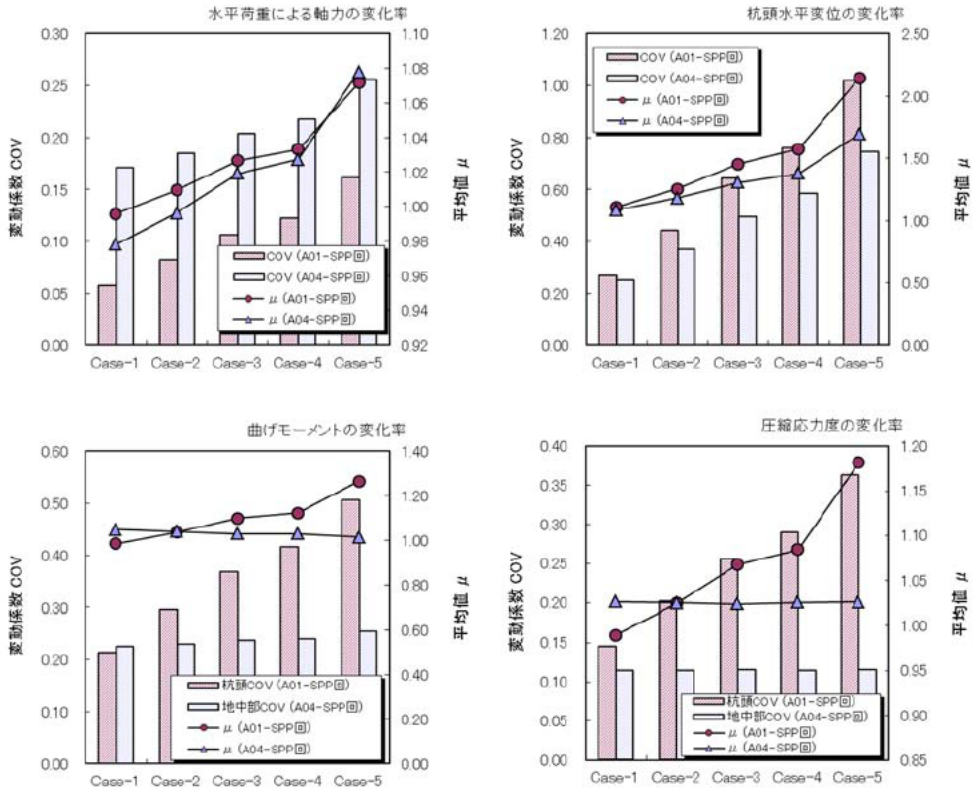
図-3.3.5　鋼管ソイルセメント杭工法の変化率の統計量

(2) 回転杭工法



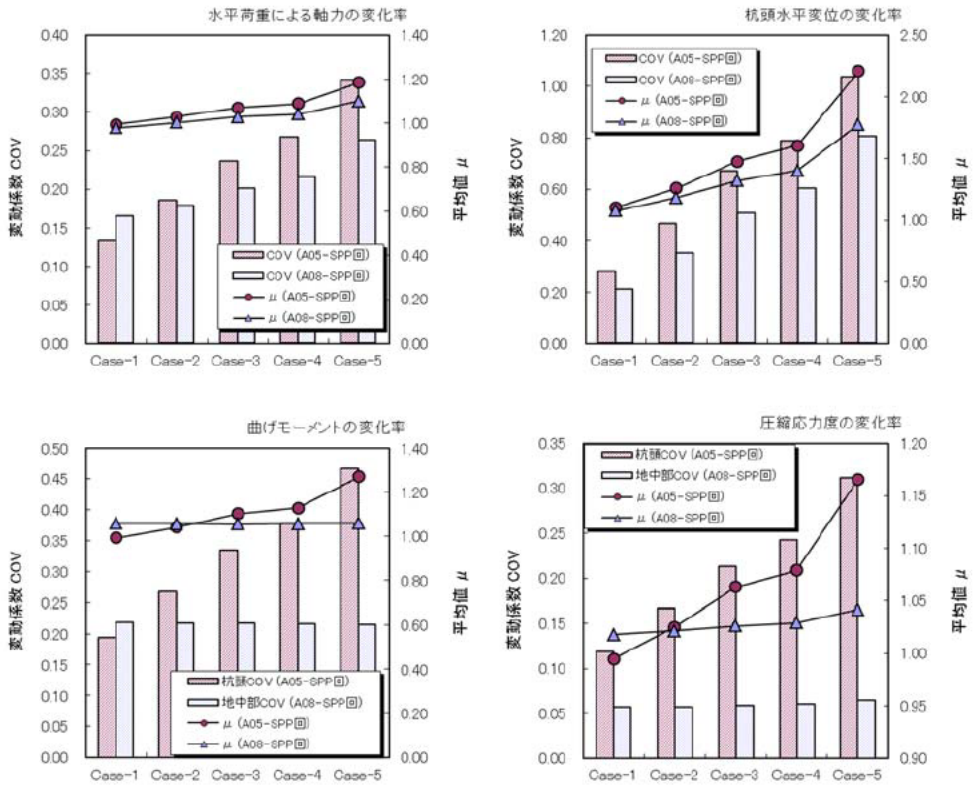
(a) 橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.6 回転杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



(b) 橋台・レベル 1 地震時

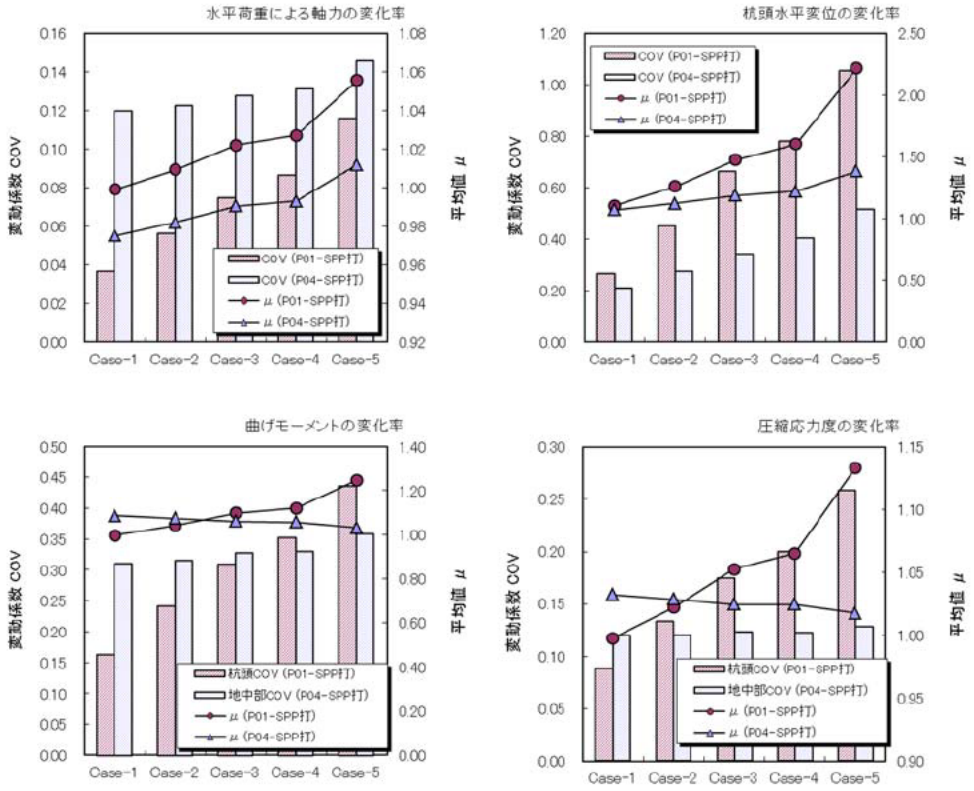
図-3.3.7 回転杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



(c)　橋台・常時

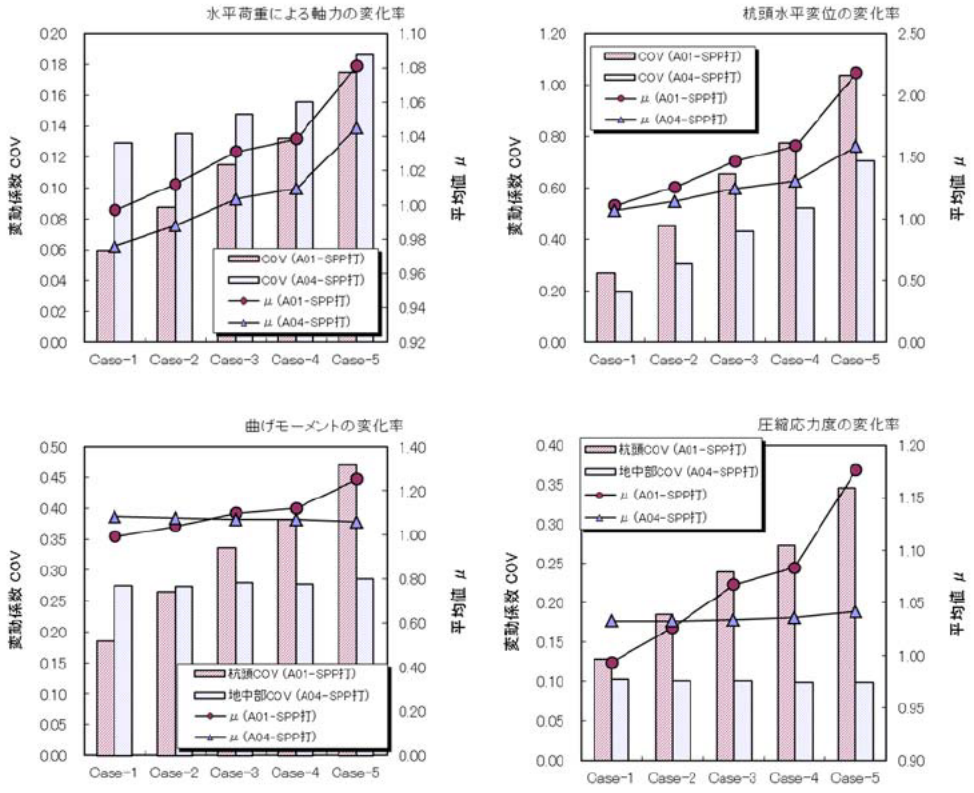
図-3.3.8　回転杭工法(鋼管杭)の変化率の統計量

(3) 打込み杭工法



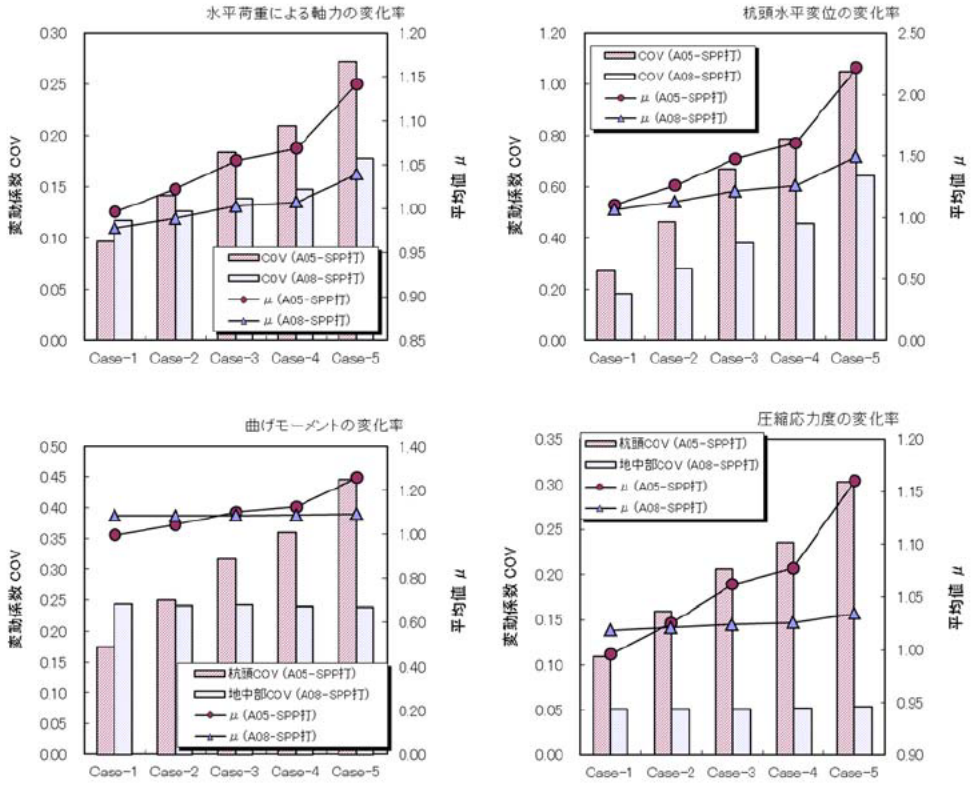
(a) 橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.9 打込み杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



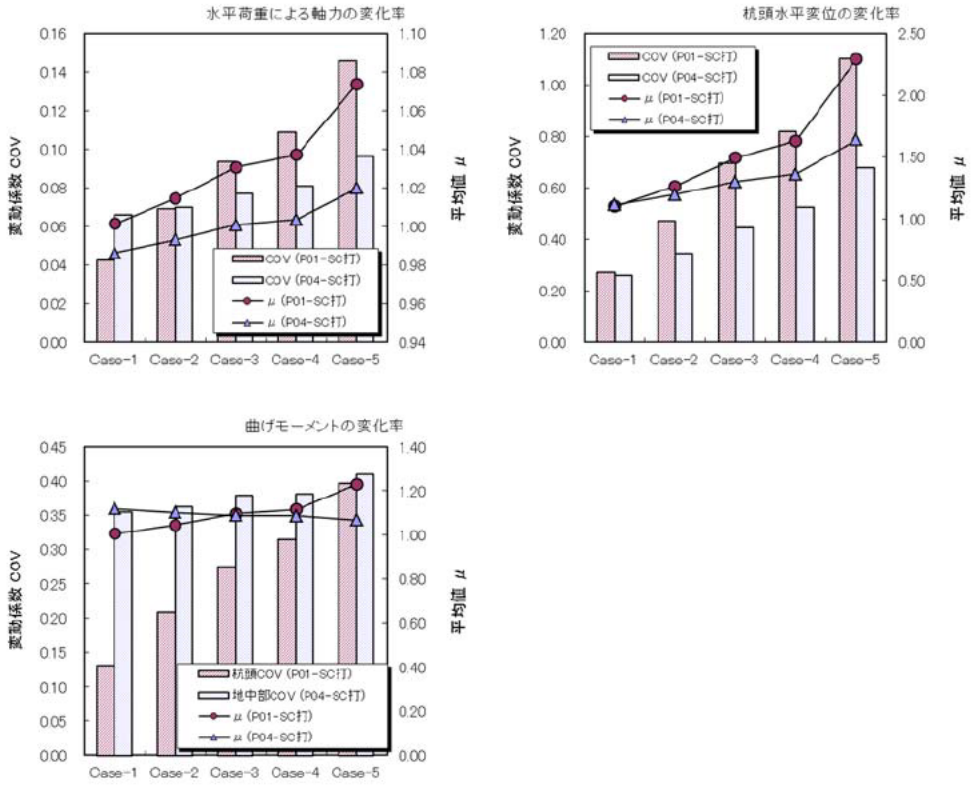
(b) 橋台・レベル 1 地震時

図-3.3.10 打込み杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



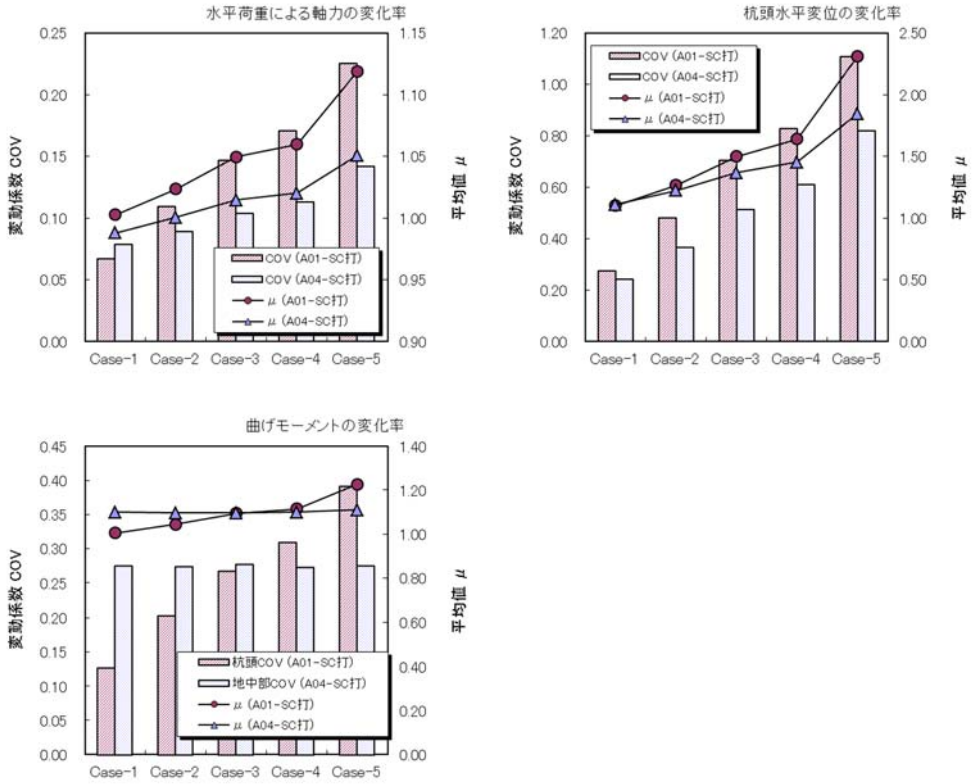
(c)　橋台・常時

図-3.3.11　打込み杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



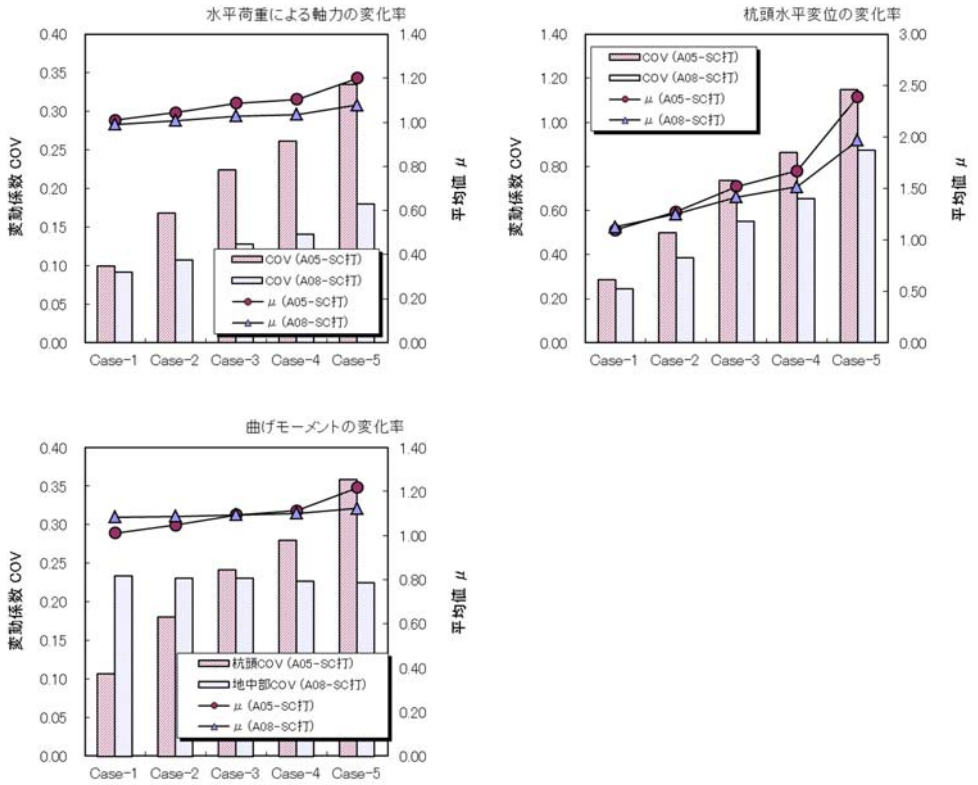
(d)　橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.12　打込み杭工法(SC 杭) の変化率の統計量



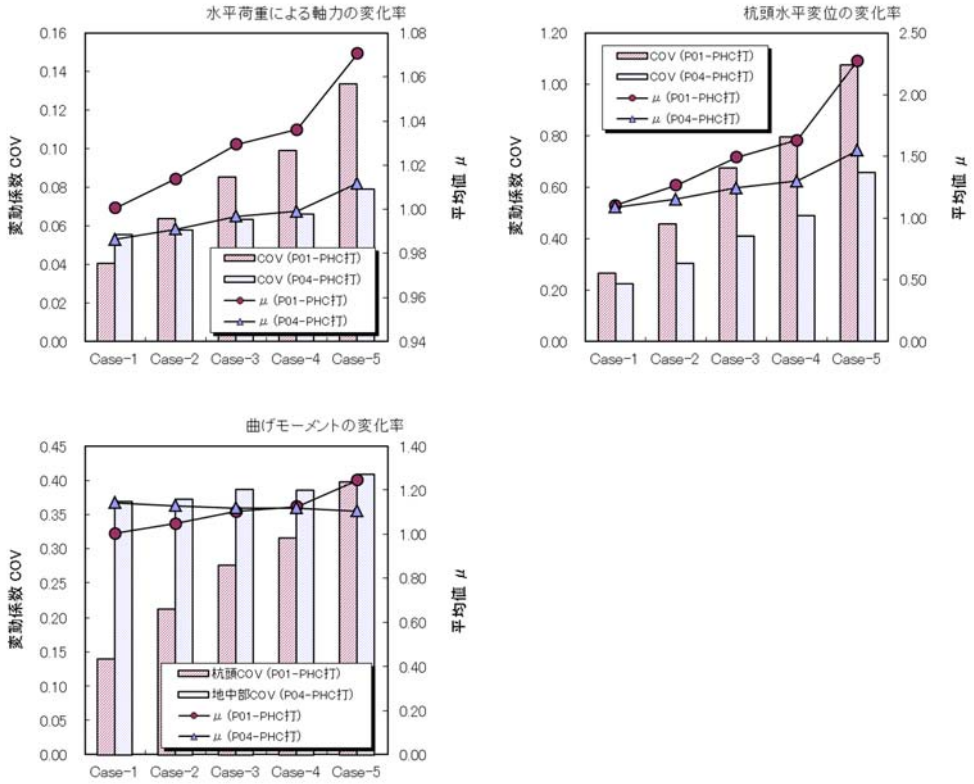
(e)　橋台・レベル 1 地震時

図−3.3.13　打込み杭工法(SC 杭) の変化率の統計量



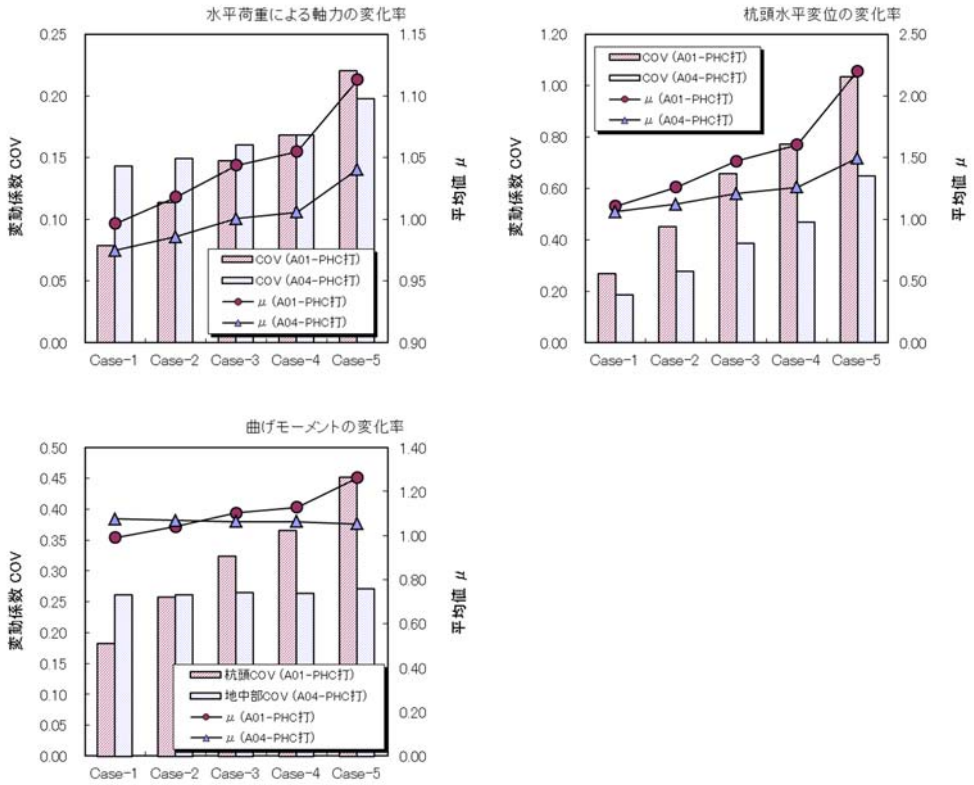
(f)　橋台・常時

図−3.3.14　打込み杭工法(SC 杭) の変化率の統計量



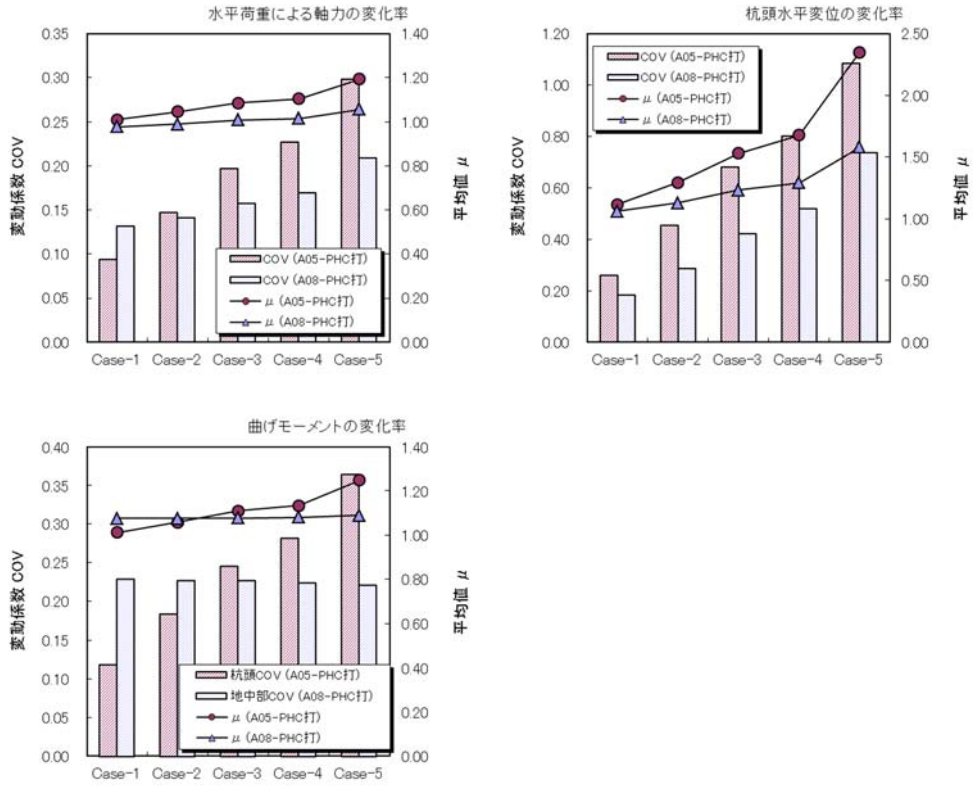
(g)　橋脚・レベル 1 地震時

図−3.3.15　打込み杭工法(PHC 杭) の変化率の統計量



(h)　橋台・レベル 1 地震時

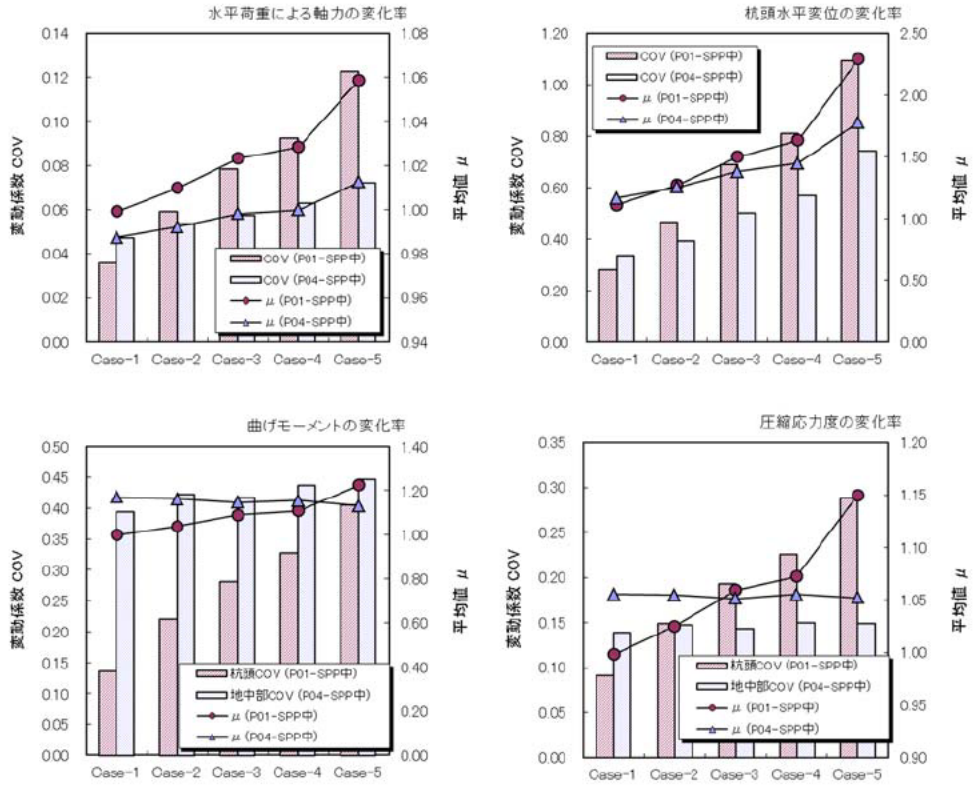
図−3.3.16　打込み杭工法(PHC 杭) の変化率の統計量



(i)　橋台・常時

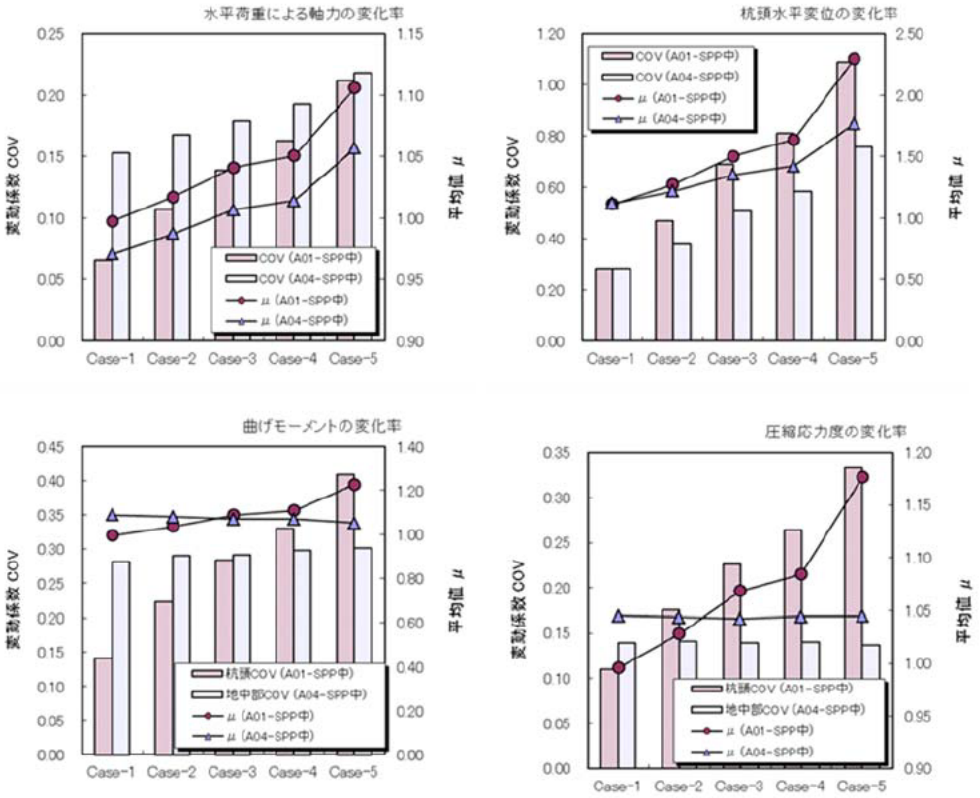
図−3.3.17　打込み杭工法(PHC 杭) の変化率の統計量

(4)　中掘り杭工法



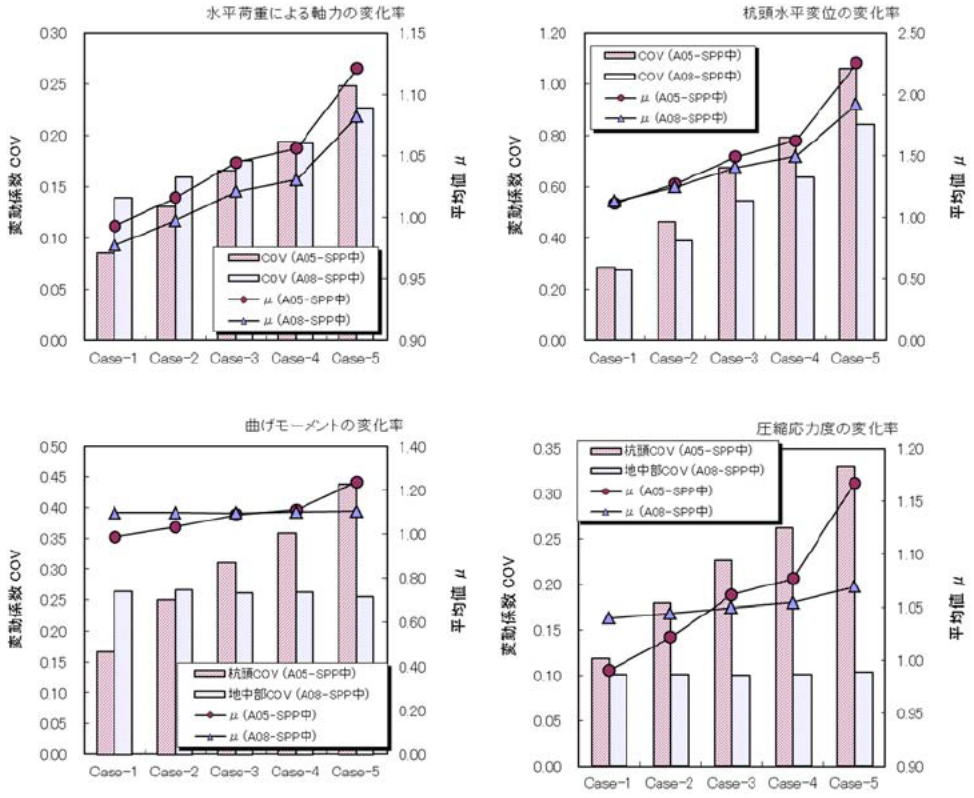
(a)　橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.18　中掘り杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



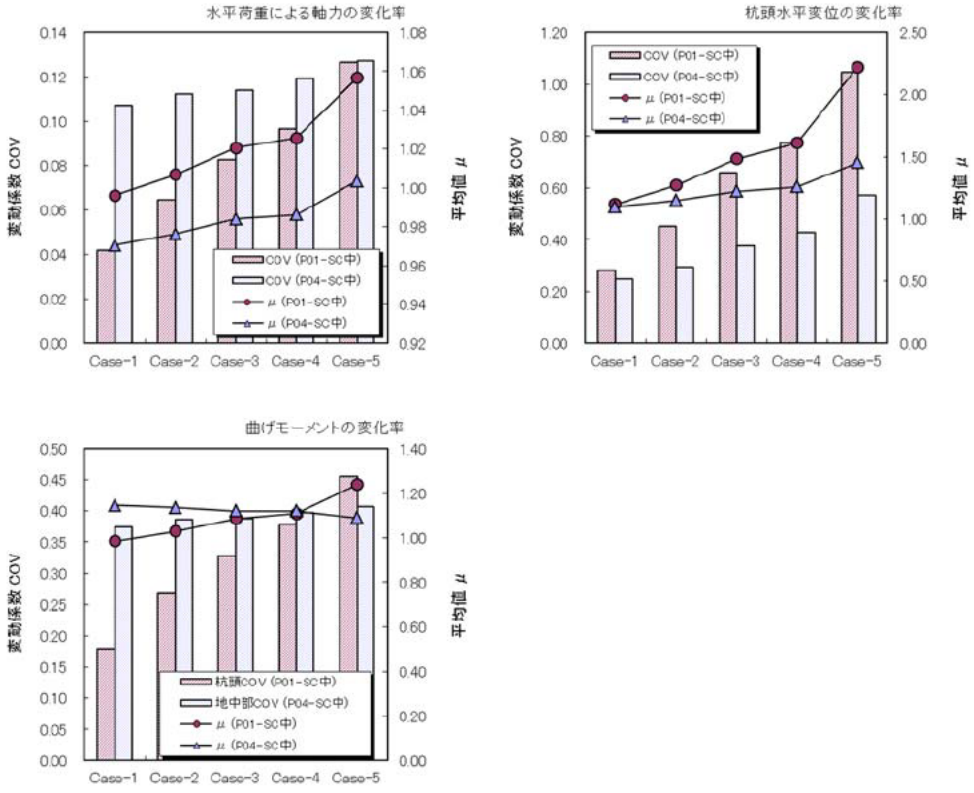
(b)　橋台・レベル 1 地震時

図-3.3.19　中掘り杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



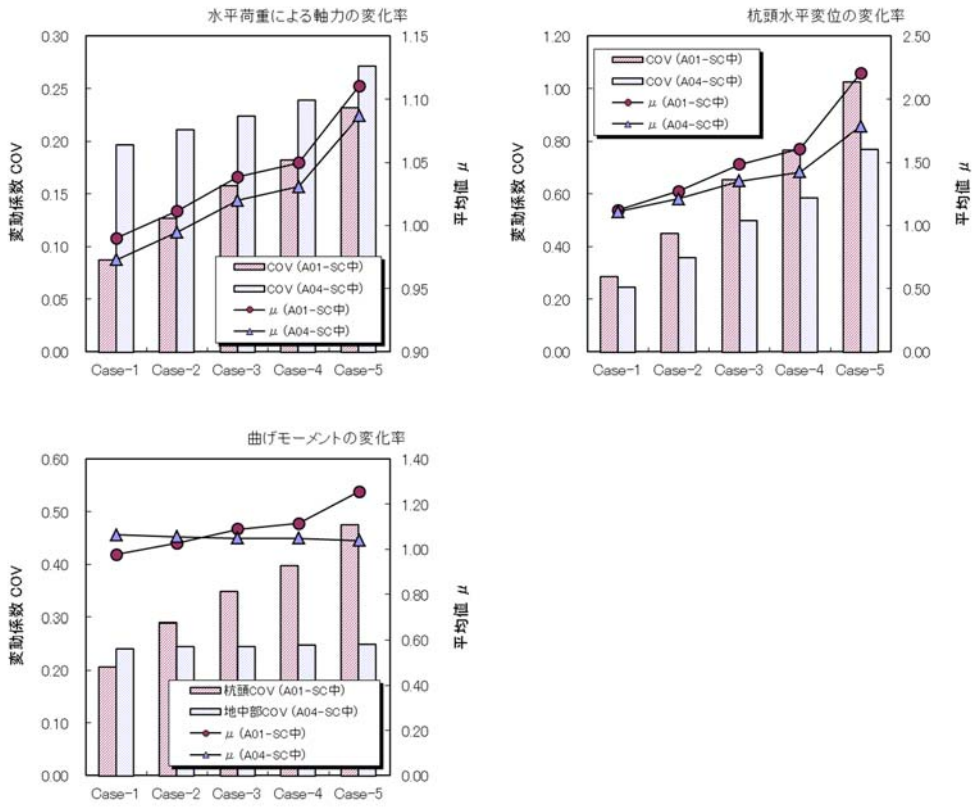
(c)　橋台・常時

図-3.3.20　中掘り杭工法(鋼管杭) の変化率の統計量



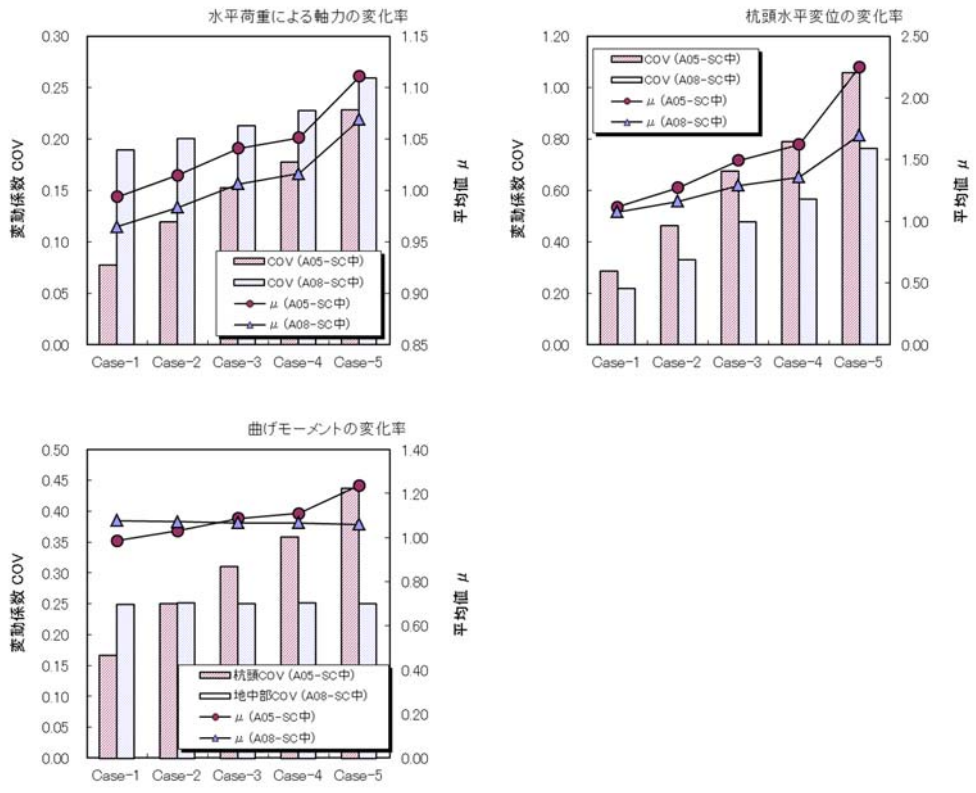
(d)　橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.21　中掘り杭工法(SC 杭) の変化率の統計量



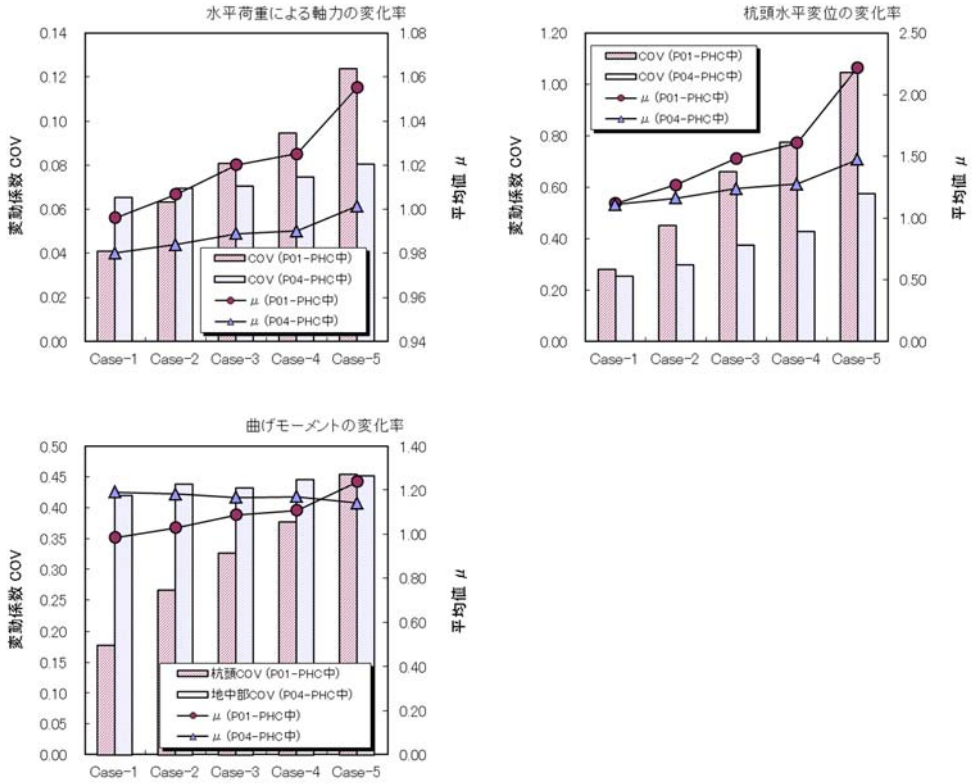
(e)　橋台・レベル 1 地震時

図−3.3.22　中掘り杭工法(SC 杭) の変化率の統計量



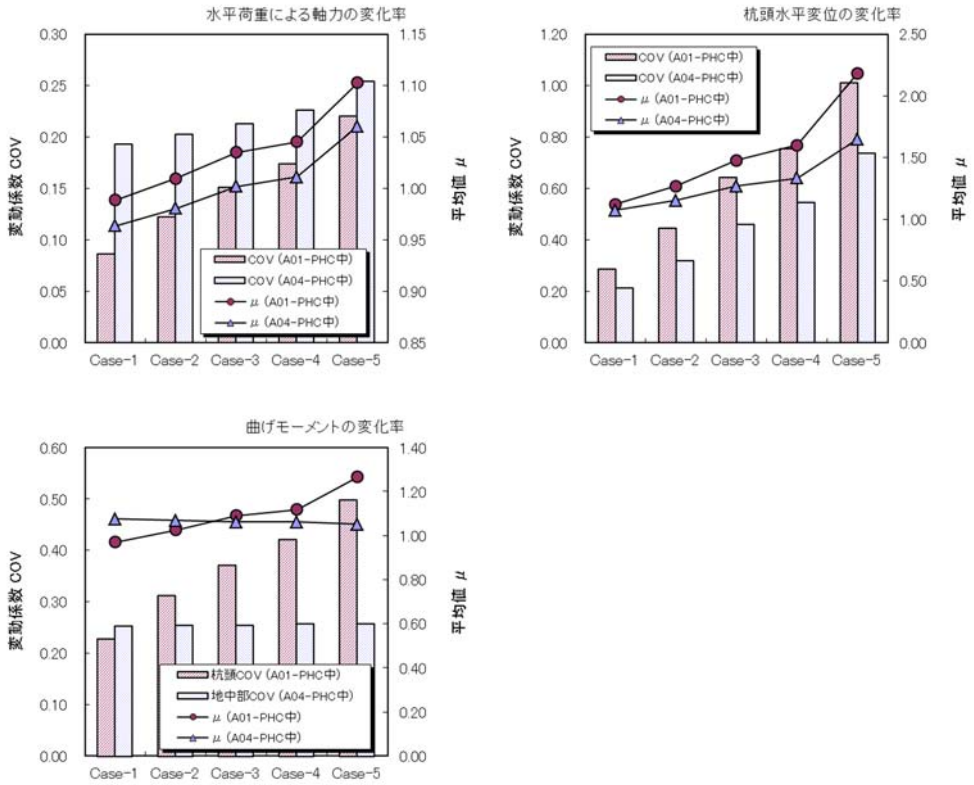
(f)　橋台・常時

図−3.3.23　中掘り杭工法(SC 杭) の変化率の統計量



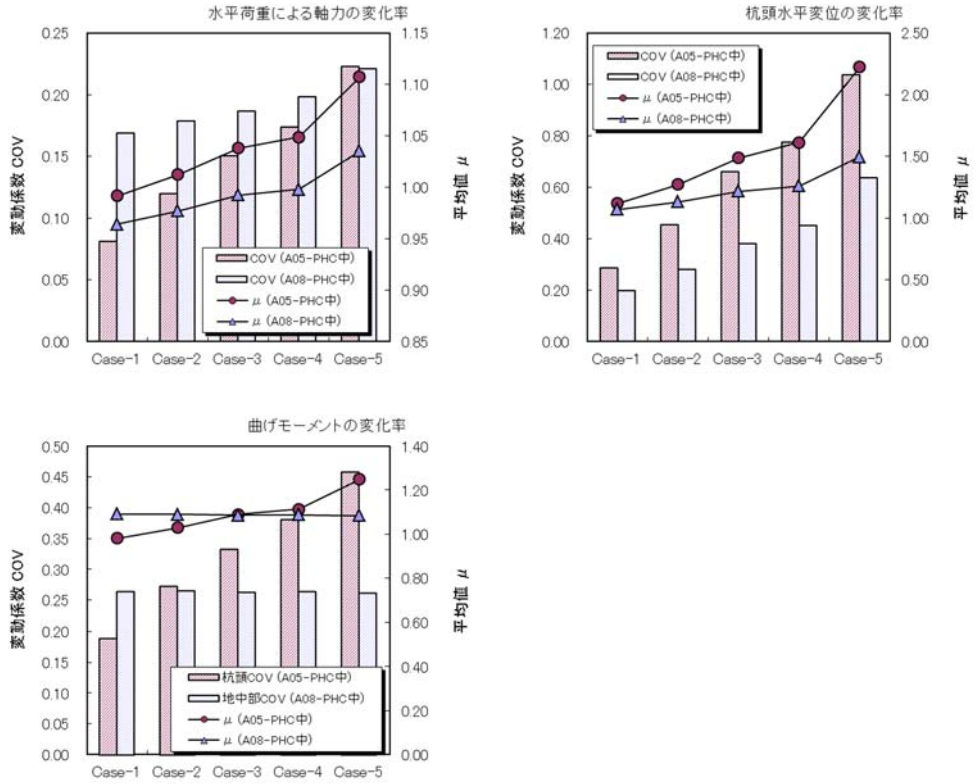
(g)　橋脚・レベル 1 地震時

図−3.3.24　中掘り杭工法(PHC 杭) の変化率の統計量



(h)　橋台・レベル 1 地震時

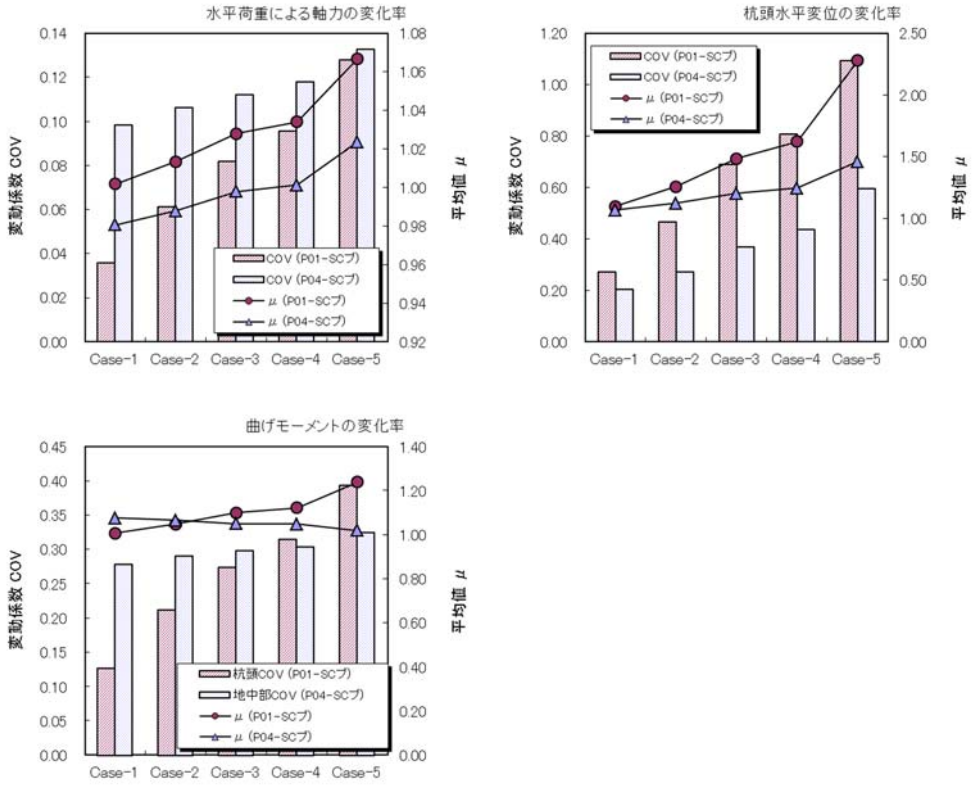
図−3.3.25　中掘り杭工法(PHC 杭) の変化率の統計量



(i)　橋台・常時

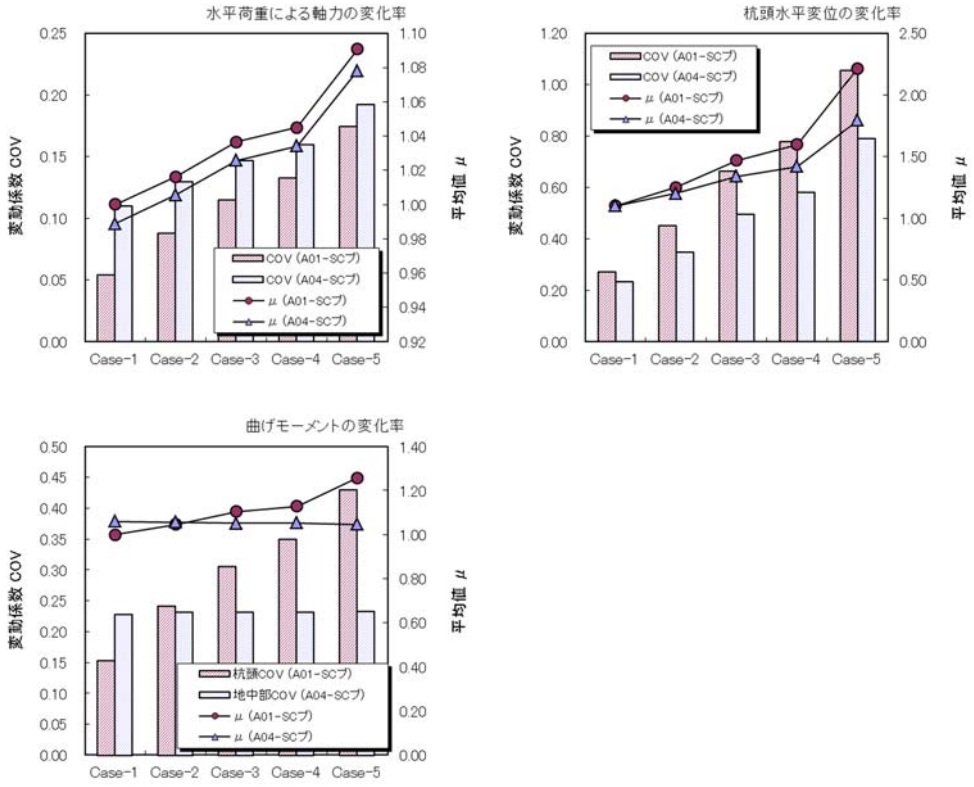
図−3.3.26　中掘り杭工法(PHC 杭) の変化率の統計量

(5) プレボーリング杭工法



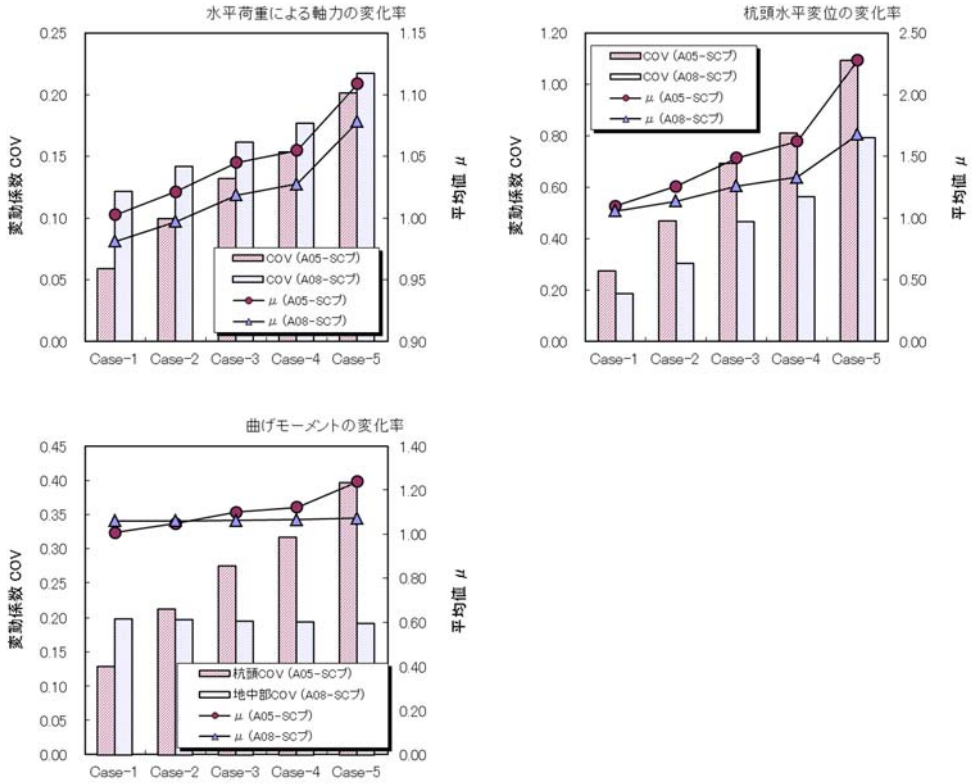
(a) 橋脚・レベル 1 地震時

図−3.3.27 プレボーリング工法(SC 杭) の変化率の統計量



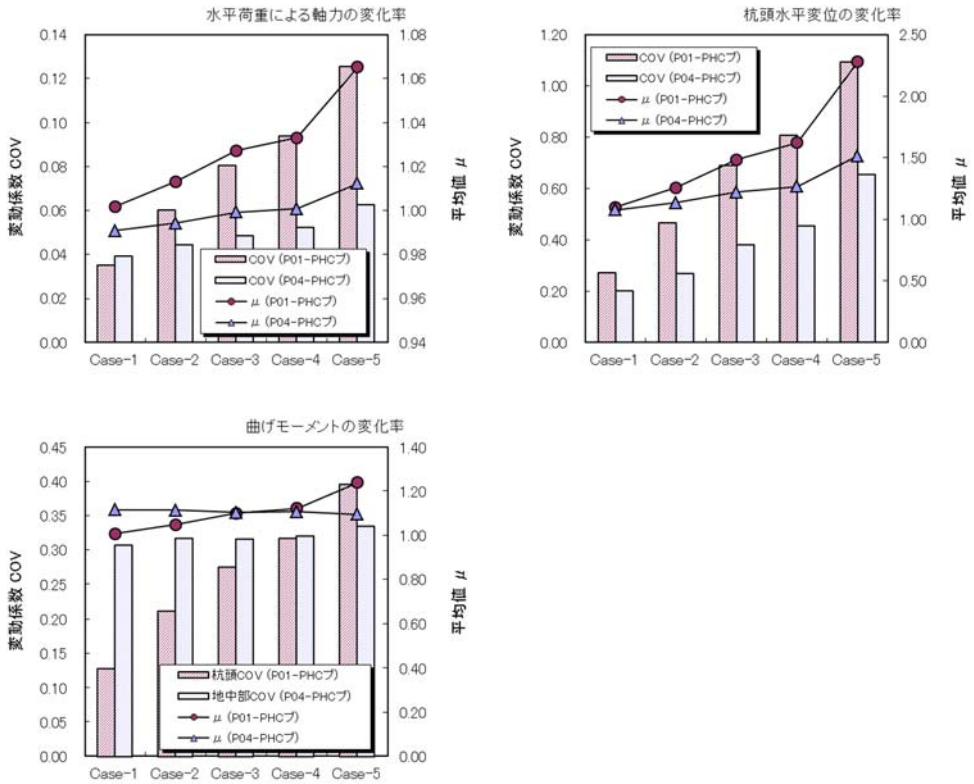
(b) 橋台・レベル 1 地震時

図−3.3.28 プレボーリング工法(SC 杭) の変化率の統計量



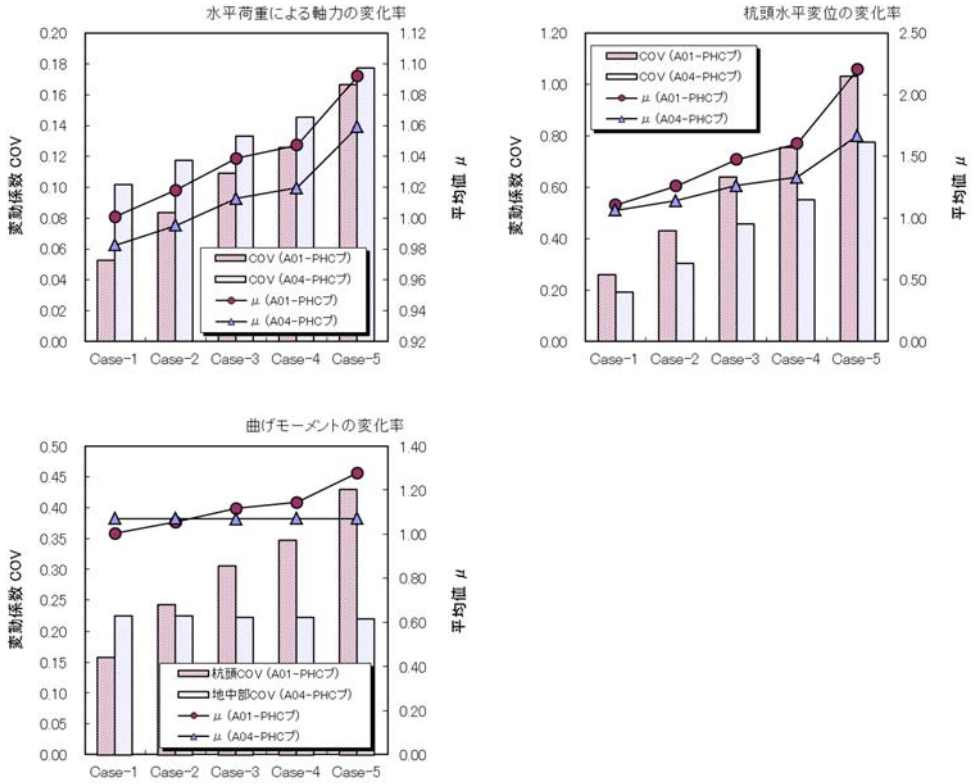
(c)　橋台・常時

図-3.3.29　プレボーリング工法(SC 杭) の変化率の統計量



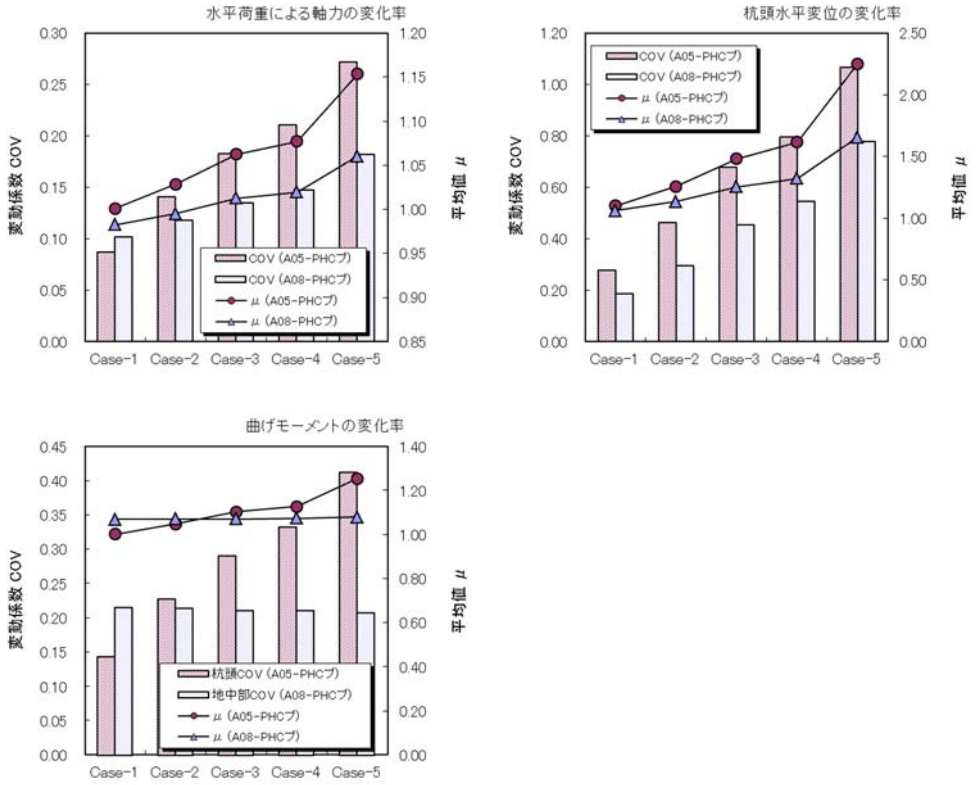
(d)　橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.30　プレボーリング工法(PHC 杭) の変化率の統計量



(e)　橋台・レベル 1 地震時

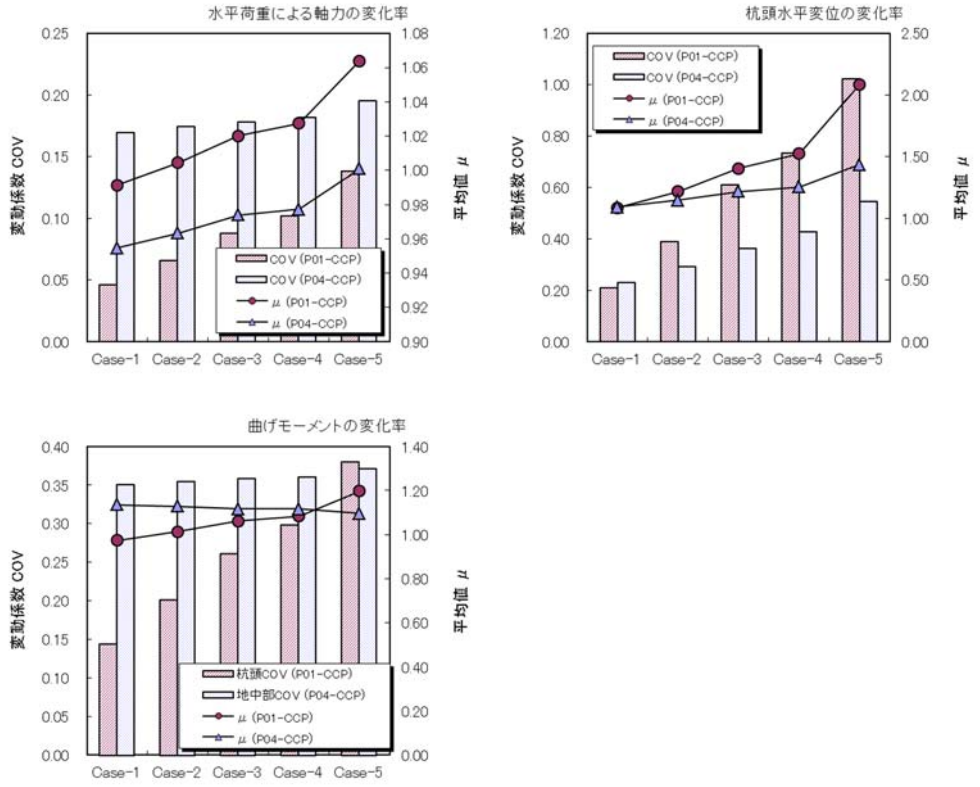
図-3.3.31　プレボーリング工法(PHC 杭) の変化率の統計量



(f)　橋台・常時

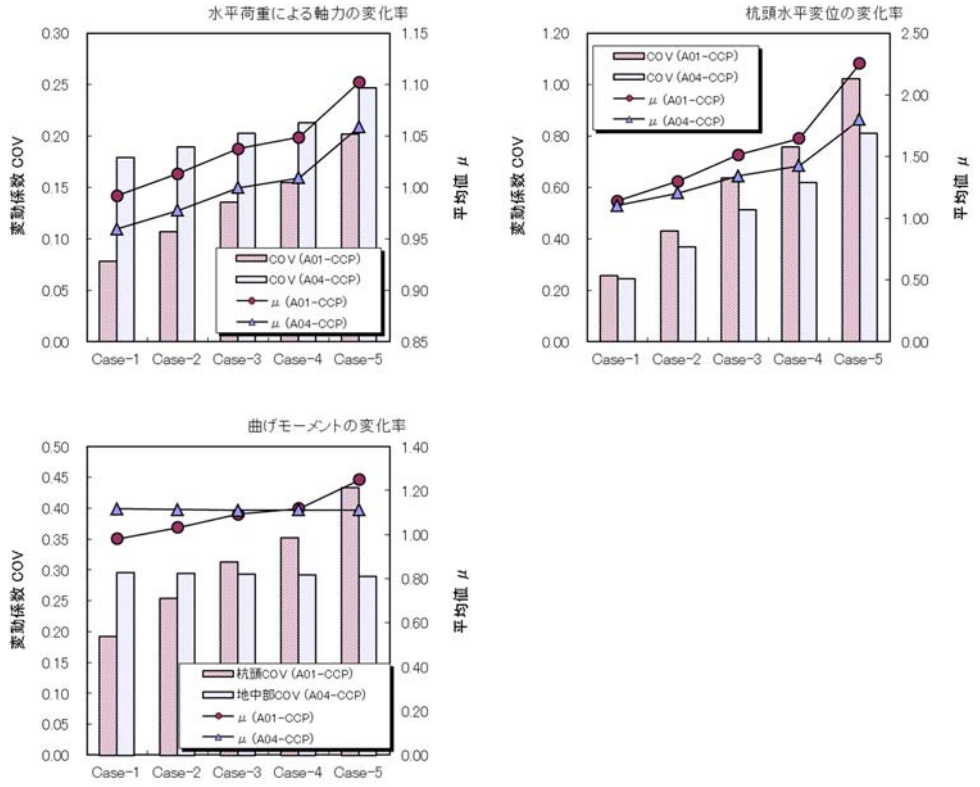
図-3.3.32　プレボーリング工法(PHC 杭) の変化率の統計量

(6) 場所打ち杭工法



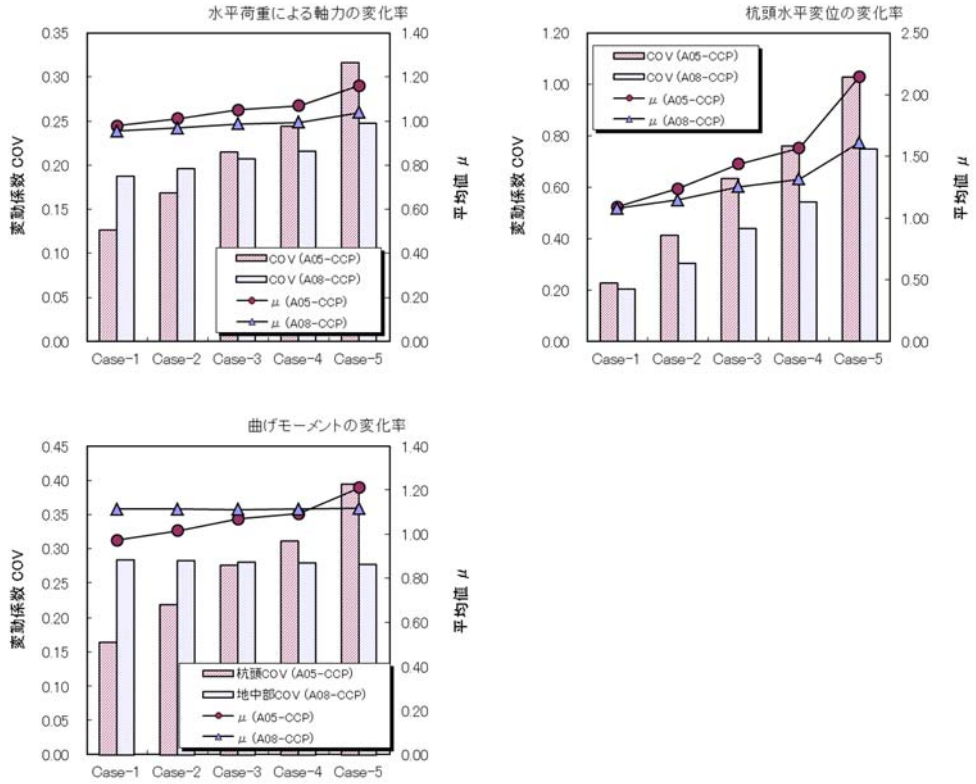
(a) 橋脚・レベル 1 地震時

図-3.3.33 場所打ち杭工法の変化率の統計量



(b) 橋台・レベル 1 地震時

図-3.3.34 場所打ち杭工法の変化率の統計量



(c)　橋台・常時

図−3.3.35　場所打ち杭工法の変化率の統計量

3.3.5　特性値を用いた抵抗値（設計値）の算出結果

サンプル計算値との変化率を算出するため，曲げ耐力（降伏曲げモーメント，終局曲げモーメント）の設計値を，特性値を用いた設計計算に基づき算出した。

表-3.3.18　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（場所打ち杭）

橋脚

【場所打ち杭】試算対象基礎の杭体の部材耐力

		杭径 D (m)	軸力 N (kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3.2.1に基づく曲げ耐力					②H24道示		②／①			
					部材耐力（Ⅲ編 $\sigma-\varepsilon$ 関係）					抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r		M_r/M_y		M_r/M_u	
					ひび割れ ﾓｰﾒﾝﾄ M_c (kN･m)	降伏曲げ ﾓｰﾒﾝﾄ M_y (kN･m)	終局曲げ ﾓｰﾒﾝﾄ M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	降伏曲げモーメントの決定要因	常　時 $\sigma_{ca}=8$ $\sigma_{sa}=160$	レベル１地震時 $\sigma_{ca}=12$ $\sigma_{sa}=300$	常　時	レベル１地震時	常　時	レベル１地震時
$N=P_{max}$	P-01-CCP	1 150	2553 9	2 459	673 3	1468 0	2139 4	1 457	ｺﾝｸﾘｰﾄ		1118 3		0 762		0 523
	P-04-CCP	1 550	4952 4	2 625	1738 0	3890 5	5705 2	1 466	ｺﾝｸﾘｰﾄ		2939 4		0 756		0 515
$N=P_{min}$	P-01-CCP	1 150	341 3	0 329	354 4	1013 0	1425 1	1 407	鉄筋		872 1		0 861		0 612
	P-04-CCP	1 550	-108 4	-0 057	740 7	2345 0	3432 4	1 464	鉄筋		1979 0		0 844		0 577

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D (m)	軸方向鉄筋量		
		鉄筋径－本数	断面積As (cm^2)	軸方向鉄筋比(%)
P-01-CCP	1 150	D22 - 22本	85 162	0 820
P-04-CCP	1 550	D29 - 26本	167 024	0 885

橋台

【場所打ち杭】試算対象基礎の杭体の部材耐力

		杭径 D (m)	軸力 N (kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3.2.1に基づく曲げ耐力					②H24道示		②／①			
					部材耐力（Ⅲ編 $\sigma-\varepsilon$ 関係）					抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r		M_r/M_y		M_r/M_u	
					ひび割れ ﾓｰﾒﾝﾄ M_c (kN･m)	降伏曲げ ﾓｰﾒﾝﾄ M_y (kN･m)	終局曲げ ﾓｰﾒﾝﾄ M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	降伏曲げモーメントの決定要因	常　時 $\sigma_{ca}=8$ $\sigma_{sa}=160$	レベル１地震時 $\sigma_{ca}=12$ $\sigma_{sa}=300$	常　時	レベル１地震時	常　時	レベル１地震時
$N=P_{max}$	A-01-CCP	1 000	2327 0	2 963	499 8	1182 7	2061 4	1 743	ｺﾝｸﾘｰﾄ		875 7		0 740		0 425
	A-04-CCP	1 250	4821 4	3 929	1191 6	2565 5	4663 2	1 818	ｺﾝｸﾘｰﾄ		1872 7		0 730		0 402
	A-05-CCP	1 150	1841 0	1 772	583 9	1670 9	2551 8	1 527	ｺﾝｸﾘｰﾄ	854 3		0 511		0 335	
	A-08-CCP	1 000	2248 4	2 863	483 3	1053 1	1693 1	1 608	ｺﾝｸﾘｰﾄ	547 0		0 519		0 323	
$N=P_{min}$	A-01-CCP	1 000	-149 3	-0 190	193 1	1054 1	1502 1	1 425	鉄筋		828 8		0 786		0 552
	A-04-CCP	1 250	-606 9	-0 495	331 6	2184 5	3197 5	1 464	鉄筋		1827 2		0 836		0 571
	A-05-CCP	1 150	529 0	0 509	394 5	1563 2	2166 0	1 386	鉄筋	797 2		0 510		0 368	
	A-08-CCP	1 000	351 6	0 448	247 7	885 7	1225 6	1 384	鉄筋	452 9		0 511		0 370	

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D (m)	軸方向鉄筋量		
		鉄筋径－本数	断面積As (cm^2)	軸方向鉄筋比(%)
A-01-CCP	1 000	D35 - 14本	133 924	1 705
A-04-CCP	1 250	D35 - 24本	229 584	1 871
A-05-CCP	1 150	D29 - 22本	141 328	1 361
A-08-CCP	1 000	D25 - 18本	91 206	1 161

表-3.3.19　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（PHC 杭：打込み杭工法）

【PHC杭：打込み杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋脚

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れモーメント M_c (kN･m)	降伏曲げモーメント M_y (kN･m)	終局曲げモーメント M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げモーメント M_r 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=0	レベル1地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=-5	②／① M_r/M_y 常時	レベル1地震時	M_r/M_u 常時	レベル1地震時
$N=P_{max}$	P-01-PHC(打)	0 800	1836 9	7 704	750 7	1382 0	1531 4	1 108	440 8	773 6	0 319	0 560	0 288	0 505
	P-04-PHC(打)	0 800	3467 6	14 542	1084 5	1751 8	1888 6	1 078	123 8	623 3	0 071	0 356	0 066	0 330
$N=P_{min}$	P-01-PHC(打)	0 800	-66 9	-0 281	460 2	888 0	1108 5	1 248	293 4	483 1	0 330	0 544	0 265	0 436
	P-04-PHC(打)	0 800	-1231 1	-5 163	367 4	803 0	1087 2	1 354	196 3	388 4	0 244	0 484	0 181	0 357

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	種別	有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ σ_{ce} (N/mm^2)	断面積 A(mm^2)	換算断面積 A_e(mm^2)	換算断面係数 Z_e(mm^3)
P-01-PHC(打)	0 800	0 110	B種	8 0	238,447	248,700	37,950,000
P-04-PHC(打)	0 800	0 110	C種	10 0	238,447	251,700	38,420,000

【ＰＨＣ杭：打込み杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋台

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れモーメント M_c (kN･m)	降伏曲げモーメント M_y (kN･m)	終局曲げモーメント M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げモーメント M_r 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=0	レベル1地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=-5	②／① M_r/M_y 常時	レベル1地震時	M_r/M_u 常時	レベル1地震時
$N=P_{max}$	A-01-PHC(打)	0 800	1672 0	7 012	810 4	1552 2	1693 0	1 091	397 9	831 5	0 256	0 536	0 235	0 491
	A-04-PHC(打)	1 000	3140 6	8 839	1654 9	3048 1	3272 7	1 074	624 7	1567 2	0 205	0 514	0 191	0 479
	A-05-PHC(打)	0 800	1163 8	4 881	648 0	1215 8	1394 4	1 147	481 2	670 9	0 396	0 552	0 345	0 481
	A-08-PHC(打)	1 000	2960 8	8 333	1460 6	2631 8	2908 6	1 105	788 6	1504 6	0 300	0 572	0 271	0 517
$N=P_{min}$	A-01-PHC(打)	0 800	-37 6	-0 158	549 6	1130 9	1363 6	1 206	378 5	570 6	0 335	0 505	0 278	0 418
	A-04-PHC(打)	1 000	-588 8	-1 657	933 4	1894 7	2365 6	1 249	611 0	973 5	0 323	0 514	0 258	0 412
	A-05-PHC(打)	0 800	540 6	2 267	552 9	1053 4	1254 3	1 191	386 1	575 8	0 367	0 547	0 308	0 459
	A-08-PHC(打)	1 000	429 2	1 208	970 8	1820 1	2217 5	1 218	656 3	1014 6	0 361	0 557	0 296	0 458

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	種別	有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ σ_{ce} (N/mm^2)	断面積 A(mm^2)	換算断面積 A_e(mm^2)	換算断面係数 Z_e(mm^3)
A-01-PHC(打)	0 800	0 110	C種	10 0	238,447	251,700	38,420,000
A-04-PHC(打)	1 000	0 130	C種	10 0	355,314	374,600	72,500,000
A-05-PHC(打)	0 800	0 110	B種	8 0	238,447	248,700	37,950,000
A-08-PHC(打)	1 000	0 130	B種	8 0	355,314	370,300	71,660,000

表-3.3.20　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（PHC 杭：中掘り杭工法）

【ＰＨＣ杭：中掘り杭工法・一般部】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋脚

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れモーメント M_c (kN･m)	降伏曲げモーメント M_y (kN･m)	終局曲げモーメント M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=0	レベル1地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=-5	②／① M_r/M_y 常時	M_r/M_y レベル1地震時	M_r/M_u 常時	M_r/M_u レベル1地震時
$N=P_{max}$	P-01-PHC(中)	0 700	2088 6	11 080	655 1	1164 6	1250 7	1 074	171 2	513 1	0 147	0 441	0 137	0 410
	P-04-PHC(中)	0 700	1786 9	9 480	557 5	1021 6	1104 4	1 081	257 6	573 8	0 252	0 562	0 233	0 520
$N=P_{min}$	P-01-PHC(中)	0 700	43 2	0 229	385 3	798 3	950 8	1 191	268 7	400 2	0 337	0 501	0 283	0 421
	P-04-PHC(中)	0 700	-400 9	-2 127	268 8	528 6	686 6	1 299	154 9	284 8	0 293	0 539	0 226	0 415

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	種別	有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ σ_{ce} (N/mm^2)	断面積 A(mm^2)	換算断面積 A_e(mm^2)	換算断面係数 Z_e(mm^3)
P-01-PHC(中)	0 700	0 100	C種	10 0	188,496	199,100	26,300,000
P-04-PHC(中)	0 700	0 100	B種	8 0	188,496	196,700	25,980,000

【ＰＨＣ杭：中掘り杭工法・一般部】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋台

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れモーメント M_c (kN･m)	降伏曲げモーメント M_y (kN･m)	終局曲げモーメント M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=0	レベル1地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=-5	②／① M_r/M_y 常時	M_r/M_y レベル1地震時	M_r/M_u 常時	M_r/M_u レベル1地震時
$N=P_{max}$	A-01-PHC(中)	0 900	2320 1	7 890	1177 0	2203 9	2388 2	1 084	510 7	1206 4	0 232	0 547	0 214	0 505
	A-04-PHC(中)	1 200	4009 0	8 102	2709 4	4916 4	5375 6	1 093	1137 7	2727 6	0 231	0 555	0 212	0 507
	A-05-PHC(中)	0 600	748 4	5 190	329 0	652 2	722 1	1 107	205 7	338 9	0 315	0 520	0 285	0 469
	A-08-PHC(中)	1 200	3295 6	6 660	1758 4	2930 1	3373 0	1 151	1247 0	1839 5	0 426	0 628	0 370	0 545
$N=P_{min}$	A-01-PHC(中)	0 900	-101 0	-0 343	758 1	1534 1	1863 5	1 215	519 1	787 4	0 338	0 513	0 279	0 423
	A-04-PHC(中)	1 200	-534 6	-1 080	1642 1	3212 4	4003 5	1 246	1097 5	1709 0	0 342	0 532	0 274	0 427
	A-05-PHC(中)	0 600	7 7	0 053	246 4	515 0	613 1	1 190	171 1	256 2	0 332	0 497	0 279	0 418
	A-08-PHC(中)	1 200	1081 8	2 186	1239 0	1976 7	2435 2	1 232	727 7	1320 2	0 368	0 668	0 299	0 542

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	種別	有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ σ_{ce} (N/mm^2)	断面積 A(mm^2)	換算断面積 A_e(mm^2)	換算断面係数 Z_e(mm^3)
A-01-PHC(中)	0 900	0 120	C種	10 0	294,053	310,100	53,660,000
A-04-PHC(中)	1 200	0 150	C種	10 0	494,801	520,800	122,300,000
A-05-PHC(中)	0 600	0 090	C種	10 0	144,199	152,300	17,020,000
A-08-PHC(中)	1 200	0 150	A種	4 0	494,801	505,200	118,500,000

表-3.3.21　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（PHC 杭：プレボーリング杭工法）

【ＰＨＣ杭：プレボーリング杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力

橋脚

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れモーメント M_c (kN･m)	降伏曲げモーメント M_y (kN･m)	終局曲げモーメント M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=0	レベル1地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=-5	②／① M_r/M_y 常時	M_r/M_y レベル1地震時	M_r/M_u 常時	M_r/M_u レベル1地震時
$N=P_{max}$	P-01-PHC(プ)	0 800	2738 2	11 483	973 1	1709 0	1834 4	1 073	235 2	734 6	0 138	0 430	0 128	0 400
	P-04-PHC(プ)	0 800	3345 2	14 029	980 8	1661 2	1765 3	1 063	210 6	703 9	0 127	0 424	0 119	0 399
$N=P_{min}$	P-01-PHC(プ)	0 800	-15 7	-0 066	552 9	1136 7	1368 4	1 204	381 8	573 9	0 336	0 505	0 279	0 419
	P-04-PHC(プ)	0 800	-661 4	-2 774	369 4	719 5	956 6	1 330	202 7	392 4	0 282	0 545	0 212	0 410

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	種別	有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ σ_{ce} (N/mm^2)	断面積 A(mm^2)	換算断面積 A_e(mm^2)	換算断面係数 Z_e(mm^3)
P-01-PHC(プ)	0 800	0 110	C種	10 0	238,447	251,700	38,420,000
P-04-PHC(プ)	0 800	0 110	B種	8 0	238,447	248,700	37,950,000

【ＰＨＣ杭：プレボーリング杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力

橋台

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れモーメント M_c (kN･m)	降伏曲げモーメント M_y (kN･m)	終局曲げモーメント M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=0	レベル1地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=-5	②／① M_r/M_y 常時	M_r/M_y レベル1地震時	M_r/M_u 常時	M_r/M_u レベル1地震時
$N=P_{max}$	A-01-PHC(プ)	1 000	3015 5	8 487	1630 7	3014 0	3249 8	1 078	648 9	1591 4	0 215	0 528	0 200	0 490
	A-04-PHC(プ)	1 200	5525 3	11 167	3065 6	5382 8	5697 2	1 058	781 6	2371 5	0 145	0 441	0 137	0 416
	A-05-PHC(プ)	0 900	1639 1	5 574	1059 2	2027 9	2260 8	1 115	628 6	1088 5	0 310	0 537	0 278	0 481
	A-08-PHC(プ)	0 800	2387 3	10 012	919 6	1684 7	1794 7	1 065	288 7	788 2	0 171	0 468	0 161	0 439
$N=P_{min}$	A-01-PHC(プ)	1 000	-364 9	-1 027	976 7	1970 7	2430 0	1 233	654 4	1016 9	0 332	0 516	0 269	0 418
	A-04-PHC(プ)	1 200	-1422 8	-2 876	1433 4	2844 7	3688 2	1 297	888 9	1500 4	0 312	0 527	0 241	0 407
	A-05-PHC(プ)	0 900	92 1	0 313	791 5	1591 6	1911 7	1 201	552 5	820 8	0 347	0 516	0 289	0 429
	A-08-PHC(プ)	0 800	99 6	0 418	570 5	1166 9	1393 6	1 194	399 4	591 5	0 342	0 507	0 287	0 424

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	種別	有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ σ_{ce} (N/mm^2)	断面積 A(mm^2)	換算断面積 A_e(mm^2)	換算断面係数 Z_e(mm^3)
A-01-PHC(プ)	1 000	0 130	C種	10 0	355,314	374,600	72,500,000
A-04-PHC(プ)	1 200	0 150	C種	10 0	494,801	520,800	122,300,000
A-05-PHC(プ)	0 900	0 120	C種	10 0	294,053	310,100	53,660,000
A-08-PHC(プ)	0 800	0 110	C種	10 0	238,447	251,700	38,420,000

表-3.3.22　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（SC 杭：打込み杭工法）

【ＳＣ杭：打込み杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋脚

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れ曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_c (kN･m)	降伏曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_y (kN･m)	終局曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常時 $\sigma_{ca}=27$ $\sigma_{ta}=140$	レベル１地震時 $\sigma_{ca}=40$ $\sigma_{ta}=210$	②／① M_r/M_y 常時	M_r/M_y レベル１地震時	M_r/M_u 常時	M_r/M_u レベル１地震時
$N=P_{max}$	P-01-SC(打)	0 800	2528 8	10 605	636 2	1572 7	2134 2	1 357		1388 5	0 000	0 883	0 000	0 651
	P-04-SC(打)	0 800	4451 4	18 668	991 2	2298 1	2971 3	1 293		1591 7	0 000	0 693	0 000	0 536
$N=P_{min}$	P-01-SC(打)	0 800	126 2	0 529	242 9	984 3	1472 7	1 496		839 3	0 000	0 853	0 000	0 570
	P-04-SC(打)	0 800	-1571 8	-6 592	0 0	912 1	1514 7	1 661		749 7	0 000	0 822	0 000	0 495

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	鋼管板厚 ts(m)	鋼管の種類	断面積 A(m^2)	換算断面積 A_e(m^2)	換算断面係数 Z_e(m^3)
P-01-SC(打)	0 800	0 110	0 008	SKK400	0 23845	0 31794	0 05204
P-04-SC(打)	0 800	0 110	0 011	SKK400	0 23845	0 35264	0 05867

※断面積は鋼管の腐食代を無視した値，換算断面積及び換算断面係数は鋼管の腐食代を考慮した値を示している。

【ＳＣ杭：打込み杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋台

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れ曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_c (kN･m)	降伏曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_y (kN･m)	終局曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常時 $\sigma_{ca}=27$ $\sigma_{ta}=140$	レベル１地震時 $\sigma_{ca}=40$ $\sigma_{ta}=210$	②／① M_r/M_y 常時	M_r/M_y レベル１地震時	M_r/M_u 常時	M_r/M_u レベル１地震時
$N=P_{max}$	A-01-SC(打)	0 600	1738 0	12 053	337 4	1007 6	1371 2	1 361		893 4	0 000	0 887	0 000	0 652
	A-04-SC(打)	0 700	3093 9	16 414	609 4	1434 7	1871 3	1 304		1060 0	0 000	0 739	0 000	0 566
	A-05-SC(打)	0 600	1111 5	7 708	235 3	656 2	913 5	1 392	444 1		0 677	0 000	0 486	0 000
	A-08-SC(打)	0 700	2978 1	15 799	572 4	1246 5	1619 7	1 299	546 1		0 438	0 000	0 337	0 000
$N=P_{min}$	A-01-SC(打)	0 600	-136 4	-0 946	104 7	691 3	1052 6	1 523		590 7	0 000	0 855	0 000	0 561
	A-04-SC(打)	0 700	-599 1	-3 178	78 4	677 2	1069 1	1 579		567 6	0 000	0 838	0 000	0 531
	A-05-SC(打)	0 600	551 7	3 826	167 5	555 7	801 2	1 442	352 0		0 634	0 000	0 439	0 000
	A-08-SC(打)	0 700	557 9	2 960	229 2	750 3	1087 2	1 449	469 5		0 626	0 000	0 432	0 000

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	鋼管板厚 ts(m)	鋼管の種類	断面積 A(m^2)	換算断面積 A_e(m^2)	換算断面係数 Z_e(m^3)
A-01-SC(打)	0 600	0 090	0 011	SKK400	0 14420	0 22940	0 02848
A-04-SC(打)	0 700	0 100	0 009	SKK400	0 18850	0 26805	0 03854
A-05-SC(打)	0 600	0 090	0 007	SKK400	0 14420	0 19492	0 02359
A-08-SC(打)	0 700	0 100	0 007	SKK400	0 18850	0 24779	0 03514

※断面積は鋼管の腐食代を無視した値，換算断面積及び換算断面係数は鋼管の腐食代を考慮した値を示している。

表-3.3.23　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（SC 杭：中掘り杭工法）

【ＳＣ杭：中掘り杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋脚

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れ曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_c (kN･m)	降伏曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_y (kN･m)	終局曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常　時 σ_{ca}＝27 σ_{ta}＝140	レベル１地震時 σ_{ca}＝40 σ_{ta}＝210	②／① M_r/M_y 常　時	レベル１地震時	M_r/M_u 常　時	レベル１地震時
$N=P_{max}$	P-01-SC(中)	0 700	2094 1	11 110	427 1	899 9	1186 0	1 318		799 4	0 000	0 888	0 000	0 674
	P-04-SC(中)	1 000	3573 4	10 057	1092 3	2286 4	3025 1	1 323		2025 5	0 000	0 886	0 000	0 670
$N=P_{min}$	P-01-SC(中)	0 700	37 7	0 200	140 6	440 0	657 0	1 493		374 8	0 000	0 852	0 000	0 570
	P-04-SC(中)	1 000	-583 0	-1 641	250 2	904 8	1421 4	1 571		753 7	0 000	0 833	0 000	0 530

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	鋼管板厚 ts(m)	鋼管の種類	断面積 A(m^2)	換算断面積 A_e(m^2)	換算断面係数 Z_e(m^3)
P-01-SC(中)	0 700	0 100	0 005	SKK400	0 18850	0 22741	0 03169
P-04-SC(中)	1 000	0 130	0 006	SKK400	0 35531	0 42571	0 08625

※断面積は鋼管の腐食代を無視した値，換算断面積及び換算断面係数は鋼管の腐食代を考慮した値を示している。

【ＳＣ杭：中掘り杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋台

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れ曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_c (kN･m)	降伏曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_y (kN･m)	終局曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_u (kN･m)	比 M_u/M_y	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ M_r 常　時 σ_{ca}＝27 σ_{ta}＝140	レベル１地震時 σ_{ca}＝40 σ_{ta}＝210	②／① M_r/M_y 常　時	レベル１地震時	M_r/M_u 常　時	レベル１地震時
$N=P_{max}$	A-01-SC(中)	1 000	3341 9	9 405	1084 6	2580 2	3502 9	1 358		2282 6	0 000	0 885	0 000	0 652
	A-04-SC(中)	1 100	4671 8	11 065	1704 7	4765 0	6529 1	1 370		4218 0	0 000	0 885	0 000	0 646
	A-05-SC(中)	0 600	1032 6	7 161	219 3	578 0	801 1	1 386	396 2		0 686	0 000	0 495	0 000
	A-08-SC(中)	0 800	2036 0	8 539	531 5	1226 0	1659 0	1 353	822 2		0 671	0 000	0 496	0 000
$N=P_{min}$	A-01-SC(中)	1 000	-75 4	-0 212	383 2	1491 8	2252 0	1 510		1268 9	0 000	0 851	0 000	0 563
	A-04-SC(中)	1 100	-898 3	-2 128	413 2	2937 1	4550 6	1 549		2485 9	0 000	0 846	0 000	0 546
	A-05-SC(中)	0 600	-24 5	-0 170	92 5	378 5	572 0	1 511	213 5		0 564	0 000	0 373	0 000
	A-08-SC(中)	0 800	115 0	0 482	221 5	731 0	1087 1	1 487	426 3		0 583	0 000	0 392	0 000

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントM_rは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	鋼管板厚 ts(m)	鋼管の種類	断面積 A(m^2)	換算断面積 A_e(m^2)	換算断面係数 Z_e(m^3)
A-01-SC(中)	1 000	0 130	0 008	SKK400	0 35531	0 45492	0 09337
A-04-SC(中)	1 100	0 140	0 014	SKK400	0 42223	0 62768	0 14554
A-05-SC(中)	0 600	0 090	0 006	SKK400	0 14420	0 18623	0 02234
A-08-SC(中)	0 800	0 110	0 006	SKK400	0 23845	0 29466	0 04754

※断面積は鋼管の腐食代を無視した値，換算断面積及び換算断面係数は鋼管の腐食代を考慮した値を示している。

表-3.3.24　試算対象基礎の杭体の曲げ耐力の設計値（SC 杭：プレボーリング杭工法）

【ＳＣ杭：プレボーリング杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋脚

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れ曲げﾓｰﾒﾝﾄ Mc (kN･m)	降伏曲げﾓｰﾒﾝﾄ My (kN･m)	終局曲げﾓｰﾒﾝﾄ Mu (kN･m)	比 Mu/My	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ Mr 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=140	レベル１地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=210	②／① Mr/My 常時	Mr/My レベル１地震時	Mr/Mu 常時	Mr/Mu レベル１地震時
$N=P_{max}$	P-01-SC(ﾌﾟ)	0 800	2750 8	11 536	646 8	1397 0	1849 3	1 324		1240 0	0 000	0 888	0 000	0 671
	P-04-SC(ﾌﾟ)	1 100	5699 1	13 498	1874 5	4451 7	5931 3	1 332		3710 2	0 000	0 833	0 000	0 626
$N=P_{min}$	P-01-SC(ﾌﾟ)	0 800	-28 3	-0 119	198 4	691 8	1041 2	1 505		587 0	0 000	0 848	0 000	0 564
	P-04-SC(ﾌﾟ)	1 100	-1328 4	-3 146	263 2	2079 2	3299 4	1 587		1733 8	0 000	0 834	0 000	0 525

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントMrは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	鋼管板厚 ts(m)	鋼管の種類	断面積 A(m^2)	換算断面積 Ae(m^2)	換算断面係数 Ze(m^3)
P-01-SC(ﾌﾟ)	0 800	0 110	0 006	SKK400	0 23845	0 29466	0 04754
P-04-SC(ﾌﾟ)	1 100	0 140	0 011	SKK400	0 42223	0 57991	0 13297

※断面積は鋼管の腐食代を無視した値，換算断面積及び換算断面係数は鋼管の腐食代を考慮した値を示している。

【ＳＣ杭：プレボーリング杭工法】試算対象基礎の杭体の部材耐力　　橋台

		杭径 D(m)	軸力 N(kN)	軸応力度 σ_c (N/mm^2)	①3 2 1に基づく曲げ耐力 部材耐力 ひび割れ曲げﾓｰﾒﾝﾄ Mc (kN･m)	降伏曲げﾓｰﾒﾝﾄ My (kN･m)	終局曲げﾓｰﾒﾝﾄ Mu (kN･m)	比 Mu/My	②H24道示 抵抗曲げﾓｰﾒﾝﾄ Mr 常時 σ_{ca}=27 σ_{ta}=140	レベル１地震時 σ_{ca}=40 σ_{ta}=210	②／① Mr/My 常時	Mr/My レベル１地震時	Mr/Mu 常時	Mr/Mu レベル１地震時
$N=P_{max}$	A-01-SC(ﾌﾟ)	0 800	2612 4	10 956	649 8	1592 0	2154 4	1 353		1412 7	0 000	0 887	0 000	0 656
	A-04-SC(ﾌﾟ)	1 000	5671 2	15 961	1718 9	4610 0	6069 5	1 317		3464 1	0 000	0 751	0 000	0 571
	A-05-SC(ﾌﾟ)	0 600	1071 7	7 432	224 0	585 1	809 0	1 383	402 7		0 688	0 000	0 498	0 000
	A-08-SC(ﾌﾟ)	1 000	3792 7	10 674	1136 8	2353 1	3100 4	1 318	1413 4		0 601	0 000	0 456	0 000
$N=P_{min}$	A-01-SC(ﾌﾟ)	0 800	-553 6	-2 322	131 6	804 8	1262 7	1 569		675 5	0 000	0 839	0 000	0 535
	A-04-SC(ﾌﾟ)	1 000	-2118 2	-5 961	67 5	2371 7	3817 7	1 610		1982 3	0 000	0 836	0 000	0 519
	A-05-SC(ﾌﾟ)	0 600	-10 3	-0 071	94 2	381 3	575 3	1 509	216 1		0 567	0 000	0 376	0 000
	A-08-SC(ﾌﾟ)	1 000	150 6	0 424	398 8	1166 5	1727 9	1 481	681 3		0 584	0 000	0 394	0 000

※P_{max}及びP_{min}は，地盤抵抗の特性値を用いた場合の杭頭鉛直反力の最大値及び最小値

※抵抗曲げモーメントMrは，許容応力度に達するときの曲げモーメント

杭体断面諸元

	杭径 D(m)	厚さ t(m)	鋼管板厚 ts(m)	鋼管の種類	断面積 A(m^2)	換算断面積 Ae(m^2)	換算断面係数 Ze(m^3)
A-01-SC(ﾌﾟ)	0 800	0 110	0 008	SKK400	0 23845	0 31794	0 05204
A-04-SC(ﾌﾟ)	1 000	0 130	0 016	SKK400	0 35531	0 57055	0 12096
A-05-SC(ﾌﾟ)	0 600	0 090	0 006	SKK400	0 14420	0 18623	0 02234
A-08-SC(ﾌﾟ)	1 000	0 130	0 006	SKK400	0 35531	0 42571	0 08625

※断面積は鋼管の腐食代を無視した値，換算断面積及び換算断面係数は鋼管の腐食代を考慮した値を示している。

3.3.6 コンクリート杭の抵抗値の不確実性の統計量

コンクリート杭（場所打ち杭，PHC 杭，SC 杭）については，軸力の大きさに応じて抵抗値である曲げ耐力（降伏曲げモーメント，終局曲げモーメント）が変わる。杭体に発生する軸力は，地盤抵抗の不確実性の影響を受ける。このため，コンクリート杭の抵抗値の不確実性について，3.2.1②に示す構造材料等の不確実性に加えて地盤抵抗の不確実性に伴う軸力の不確実性を考慮した統計量を設定する。

軸力が大きいほどコンクリート杭の曲げ耐力は大きくなる。したがって，押込み側の杭よりも引抜き側の杭で曲げ耐力が小さくなるため，一般に部材の諸元は引抜き側の杭の設計結果で決定される。そこで本検討で考慮する軸力の不確実性は，引抜き側の杭に発生する軸力の不確実性とする。

抵抗値の不確実性は，3.3.2(2)で示したように，1000 個のサンプル計算値と設計値の比による変化率で評価する。ここで，曲げ耐力のサンプル計算値は，3.3.3 に示したモンテカルロシミュレーションを用いた応答値の計算による引抜き側の杭頭鉛直反力（1000 個）と，3.2.1②に示した構造材料等の統計量に基づき作成した 1000 個の材料強度等のサンプルを用いて，3.2.1①に基づき計算した降伏曲げモーメントと終局曲げモーメントの計算結果であり，それぞれ 1000 個の値が作成される。また，設計値は 3.3.5 に示したものである。

Case-3 を例に，引抜き側の軸力状態における杭体の部材耐力の変化率の統計量を図−3.3.36 及び図−3.3.37 に示す。計算された統計量は，構造材料等の不確実性の統計量に近く，地盤抵抗の不確実性に伴う影響は小さいものと考えられる。

また，部材耐力の変化率の平均値は杭種によらず概ね 1.00 である。変動係数 COV は SC 杭の降伏曲げモーメントを除いては COV＝5%～10%で，SC 杭の降伏曲げモーメントのみ COV＝5%～15%でやや他の杭種よりもばらつきが大きい傾向にある。

(1)　場所打ち杭工法

表−3.3.25　場所打ち杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側（$P_N$max)

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		My (kN・m)	$My_{(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$My_{(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	Mu (kN・m)	$Mu_{(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$Mu_{(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-CCP	Case-1	1468.0	1461.1	0.995	148.6	0.101	0.102	2139.4	2128.3	0.995	98.1	0.046	0.046
	Case-2	1468.0	1462.5	0.996	148.9	0.101	0.102	2139.4	2132.2	0.997	99.3	0.046	0.047
	Case-3	1468.0	1464.2	0.997	149.3	0.102	0.102	2139.4	2136.8	0.999	101.1	0.047	0.047
	Case-4	1468.0	1465.1	0.998	150.1	0.102	0.102	2139.4	2139.2	1.000	103.4	0.048	0.048
	Case-5	1468.0	1469.0	1.001	151.0	0.103	0.103	2139.4	2149.9	1.005	108.4	0.051	0.050
P-04-CCP	Case-1	3890.5	3860.3	0.992	392.9	0.101	0.102	5705.2	5638.5	0.988	288.8	0.051	0.051
	Case-2	3890.5	3862.6	0.993	393.5	0.101	0.102	5705.2	5646.2	0.990	291.3	0.051	0.052
	Case-3	3890.5	3865.6	0.994	394.9	0.101	0.102	5705.2	5655.8	0.991	295.1	0.052	0.052
	Case-4	3890.5	3866.9	0.994	396.1	0.102	0.102	5705.2	5659.2	0.992	298.4	0.052	0.053
	Case-5	3890.5	3873.3	0.996	397.9	0.102	0.103	5705.2	5680.3	0.996	308.0	0.054	0.054

引抜き側（$P_N$min)

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		My (kN・m)	$My_{(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$My_{(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	Mu (kN・m)	$Mu_{(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$Mu_{(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-CCP	Case-1	1013.0	1013.9	1.001	45.1	0.044	0.044	1425.1	1423.0	0.999	60.4	0.042	0.042
	Case-2	1013.0	1009.1	0.996	48.7	0.048	0.048	1425.1	1417.8	0.995	63.8	0.045	0.045
	Case-3	1013.0	1002.8	0.990	54.1	0.053	0.054	1425.1	1411.5	0.990	68.2	0.048	0.048
	Case-4	1013.0	999.8	0.987	59.1	0.058	0.059	1425.1	1408.3	0.988	72.3	0.051	0.051
	Case-5	1013.0	985.6	0.973	71.1	0.070	0.072	1425.1	1393.4	0.978	83.3	0.058	0.060
P-04-CCP	Case-1	2345.0	2395.0	1.021	223.2	0.095	0.093	3432.4	3485.9	1.016	254.8	0.074	0.073
	Case-2	2345.0	2384.4	1.017	230.7	0.098	0.097	3432.4	3474.7	1.012	262.7	0.077	0.076
	Case-3	2345.0	2371.2	1.011	235.7	0.101	0.099	3432.4	3460.4	1.008	267.5	0.078	0.077
	Case-4	2345.0	2366.9	1.009	242.7	0.103	0.103	3432.4	3455.6	1.007	274.8	0.080	0.080
	Case-5	2345.0	2337.5	0.997	262.9	0.112	0.112	3432.4	3424.1	0.998	295.7	0.086	0.086

■降伏曲げモーメントの決定要因

	P-01-CCP						P-04-CCP					
	押込み側($N=P_N$max)			引抜き側($N=P_N$min)			押込み側($N=P_N$max)			引抜き側($N=P_N$min)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	9	991	鉄筋	992	8	ｺﾝｸﾘｰﾄ	18	982	鉄筋	1000	0
Case-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	6	994	鉄筋	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	17	983	鉄筋	1000	0
Case-3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	8	992	鉄筋	992	8	ｺﾝｸﾘｰﾄ	16	984	鉄筋	1000	0
Case-4	ｺﾝｸﾘｰﾄ	7	993	鉄筋	991	9	ｺﾝｸﾘｰﾄ	17	983	鉄筋	1000	0
Case-5	ｺﾝｸﾘｰﾄ	6	994	鉄筋	993	7	ｺﾝｸﾘｰﾄ	13	987	鉄筋	1000	0
Case-6	ｺﾝｸﾘｰﾄ	10	990	鉄筋	977	23	ｺﾝｸﾘｰﾄ	41	959	鉄筋	996	4

表-3.3.25　場所打ち杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-CCP	Case-1	1182 7	1178 8	0 997	128 3	0 108	0 109	2061 4	2050 5	0 995	112 2	0 054	0 055
	Case-2	1182 7	1179 7	0 997	128 7	0 109	0 109	2061 4	2054 8	0 997	113 7	0 055	0 055
	Case-3	1182 7	1180 7	0 998	129 3	0 109	0 109	2061 4	2059 8	0 999	115 6	0 056	0 056
	Case-4	1182 7	1181 4	0 999	129 7	0 110	0 110	2061 4	2062 1	1 000	117 8	0 057	0 057
	Case-5	1182 7	1183 6	1 001	130 6	0 110	0 110	2061 4	2072 4	1 005	122 6	0 059	0 059
A-04-CCP	Case-1	2565 5	2553 2	0 995	288 8	0 113	0 113	4663 2	4618 1	0 990	270 0	0 058	0 058
	Case-2	2565 5	2554 0	0 996	289 7	0 113	0 113	4663 2	4626 6	0 992	273 1	0 059	0 059
	Case-3	2565 5	2554 7	0 996	291 8	0 114	0 114	4663 2	4636 4	0 994	278 3	0 060	0 060
	Case-4	2565 5	2555 6	0 996	292 2	0 114	0 114	4663 2	4641 7	0 995	282 3	0 061	0 061
	Case-5	2565 5	2557 2	0 997	295 0	0 115	0 115	4663 2	4663 5	1 000	293 8	0 063	0 063

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-CCP	Case-1	1054 1	1040 3	0 987	63 4	0 060	0 061	1502 1	1502 6	1 000	72 9	0 049	0 048
	Case-2	1054 1	1033 9	0 981	66 9	0 063	0 065	1502 1	1495 7	0 996	77 3	0 051	0 052
	Case-3	1054 1	1026 7	0 974	70 4	0 067	0 069	1502 1	1487 7	0 990	82 3	0 055	0 055
	Case-4	1054 1	1021 8	0 969	75 9	0 072	0 074	1502 1	1483 9	0 988	87 1	0 058	0 059
	Case-5	1054 1	1005 0	0 953	88 8	0 084	0 088	1502 1	1466 2	0 976	100 3	0 067	0 068
A-04-CCP	Case-1	2184 5	2200 7	1 007	178 9	0 082	0 081	3197 5	3229 3	1 010	212 0	0 066	0 066
	Case-2	2184 5	2184 7	1 000	190 8	0 087	0 087	3197 5	3212 1	1 005	223 5	0 070	0 070
	Case-3	2184 5	2164 3	0 991	203 1	0 093	0 094	3197 5	3190 6	0 998	236 1	0 074	0 074
	Case-4	2184 5	2152 9	0 986	214 4	0 098	0 100	3197 5	3180 7	0 995	249 1	0 078	0 078
	Case-5	2184 5	2107 7	0 965	256 3	0 117	0 122	3197 5	3131 7	0 979	289 0	0 090	0 092

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-01-CCP						A-04-CCP					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	738	262	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	872	128
Case-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	760	240	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	885	115
Case-3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	779	221	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	892	108
Case-4	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	773	227	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	889	111
Case-5	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	795	205	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	893	107

表-3.3.25　場所打ち杭の抵抗値の変化率の統計量（3）

(c) 橋台・常時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-CCP	Case-1	1670 9	1665 3	0 997	166 5	0 100	0 100	2551 8	2540 9	0 996	113 5	0 044	0 045
	Case-2	1670 9	1666 5	0 997	166 9	0 100	0 100	2551 8	2546 7	0 998	115 4	0 045	0 045
	Case-3	1670 9	1667 7	0 998	167 4	0 100	0 100	2551 8	2553 3	1 001	118 4	0 046	0 046
	Case-4	1670 9	1668 6	0 999	167 9	0 101	0 101	2551 8	2556 8	1 002	121 2	0 047	0 047
	Case-5	1670 9	1671 7	1 001	169 1	0 101	0 101	2551 8	2572 2	1 008	129 7	0 051	0 050
A-08-CCP	Case-1	1053 1	1046 2	0 993	112 7	0 107	0 108	1693 1	1672 6	0 988	91 7	0 054	0 055
	Case-2	1053 1	1047 0	0 994	112 9	0 107	0 108	1693 1	1675 1	0 989	92 6	0 055	0 055
	Case-3	1053 1	1048 1	0 995	113 3	0 108	0 108	1693 1	1678 6	0 991	93 9	0 055	0 056
	Case-4	1053 1	1048 6	0 996	113 8	0 108	0 108	1693 1	1680 2	0 992	95 4	0 056	0 057
	Case-5	1053 1	1051 2	0 998	114 5	0 109	0 109	1693 1	1688 4	0 997	99 9	0 059	0 059

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-CCP	Case-1	1563 2	1534 5	0 982	95 7	0 061	0 062	2166 0	2165 2	1 000	92 9	0 043	0 043
	Case-2	1563 2	1529 1	0 978	96 9	0 062	0 063	2166 0	2158 2	0 996	96 5	0 045	0 045
	Case-3	1563 2	1523 0	0 974	97 7	0 062	0 064	2166 0	2149 9	0 993	101 3	0 047	0 047
	Case-4	1563 2	1518 2	0 971	101 0	0 065	0 067	2166 0	2145 7	0 991	105 7	0 049	0 049
	Case-5	1563 2	1501 8	0 961	109 6	0 070	0 073	2166 0	2126 3	0 982	118 4	0 055	0 056
A-08-CCP	Case-1	885 7	880 3	0 994	64 9	0 073	0 074	1225 6	1233 4	1 006	71 9	0 059	0 058
	Case-2	885 7	877 2	0 990	66 8	0 075	0 076	1225 6	1229 8	1 003	74 3	0 061	0 060
	Case-3	885 7	873 1	0 986	67 9	0 077	0 078	1225 6	1224 8	0 999	76 7	0 063	0 063
	Case-4	885 7	870 1	0 982	70 0	0 079	0 080	1225 6	1222 6	0 998	79 1	0 065	0 065
	Case-5	885 7	859 3	0 970	78 1	0 088	0 091	1225 6	1210 4	0 988	88 0	0 072	0 073

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-05-CCP						A-08-CCP					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鉄筋	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	12	988	鉄筋	656	344	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	709	291
Case-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	11	989	鉄筋	673	327	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	711	289
Case-3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	12	988	鉄筋	702	298	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	737	263
Case-4	ｺﾝｸﾘｰﾄ	10	990	鉄筋	696	304	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	732	268
Case-5	ｺﾝｸﾘｰﾄ	10	990	鉄筋	717	283	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	鉄筋	753	247

(2) 打込み杭工法

表-3.3.26 PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側 ($P_{N\max}$)

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-PHC(打)	Case-1	1382 0	1380 8	0 999	43 3	0 031	0 031	1531 4	1530 3	0 999	38 6	0 025	0 025
	Case-2	1382 0	1383 8	1 001	44 9	0 033	0 032	1531 4	1532 6	1 001	39 7	0 026	0 026
	Case-3	1382 0	1387 3	1 004	46 4	0 034	0 033	1531 4	1535 4	1 003	40 7	0 027	0 026
	Case-4	1382 0	1388 7	1 005	48 6	0 035	0 035	1531 4	1536 5	1 003	42 2	0 028	0 027
	Case-5	1382 0	1396 5	1 010	53 6	0 039	0 038	1531 4	1542 5	1 007	46 0	0 030	0 030
P-04-PHC(打)	Case-1	1751 8	1749 4	0 999	39 5	0 023	0 023	1888 6	1884 2	0 998	43 5	0 023	0 023
	Case-2	1751 8	1749 9	0 999	39 6	0 023	0 023	1888 6	1884 7	0 998	43 6	0 023	0 023
	Case-3	1751 8	1750 5	0 999	39 8	0 023	0 023	1888 6	1885 3	0 998	43 7	0 023	0 023
	Case-4	1751 8	1750 7	0 999	39 8	0 023	0 023	1888 6	1885 4	0 998	43 9	0 023	0 023
	Case-5	1751 8	1752 1	1 000	40 6	0 023	0 023	1888 6	1886 6	0 999	44 6	0 024	0 024

引抜き側 ($P_{N\min}$)

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-PHC(打)	Case-1	888 0	887 1	0 999	43 2	0 049	0 049	1108 5	1107 5	0 999	47 3	0 043	0 043
	Case-2	888 0	883 6	0 995	45 0	0 051	0 051	1108 5	1104 4	0 996	48 7	0 044	0 044
	Case-3	888 0	879 4	0 990	48 2	0 054	0 055	1108 5	1100 6	0 993	51 2	0 046	0 047
	Case-4	888 0	877 6	0 988	49 4	0 056	0 056	1108 5	1099 1	0 991	52 1	0 047	0 047
	Case-5	888 0	868 4	0 978	56 1	0 063	0 065	1108 5	1090 8	0 984	57 3	0 052	0 053
P-04-PHC(打)	Case-1	803 0	811 3	1 010	63 9	0 080	0 079	1087 2	1092 6	1 005	68 4	0 063	0 063
	Case-2	803 0	808 2	1 006	64 7	0 081	0 080	1087 2	1089 9	1 003	69 1	0 064	0 063
	Case-3	803 0	804 3	1 002	68 0	0 085	0 084	1087 2	1086 5	0 999	71 7	0 066	0 066
	Case-4	803 0	802 8	1 000	67 9	0 085	0 085	1087 2	1085 2	0 998	71 6	0 066	0 066
	Case-5	803 0	794 1	0 989	74 3	0 092	0 094	1087 2	1077 4	0 991	76 6	0 070	0 071

■降伏曲げモーメントの決定要因

	P-01-PHC(打)						P-04-PHC(打)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	1	999	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	1	999	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0	1000	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	3	997	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	1	999	PC鋼材	1000	0

表-3.3.26　PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-PHC(打)	Case-1	1552 2	1549 6	0 998	52 6	0 034	0 034	1693 0	1690 8	0 999	45 4	0 027	0 027
	Case-2	1552 2	1553 5	1 001	55 0	0 035	0 035	1693 0	1693 6	1 000	47 0	0 028	0 028
	Case-3	1552 2	1558 0	1 004	56 7	0 037	0 036	1693 0	1696 9	1 002	48 1	0 028	0 028
	Case-4	1552 2	1559 8	1 005	59 9	0 039	0 038	1693 0	1698 2	1 003	50 0	0 030	0 029
	Case-5	1552 2	1569 5	1 011	65 7	0 042	0 042	1693 0	1705 5	1 007	54 9	0 032	0 032
A-04-PHC(打)	Case-1	3048 1	3023 4	0 992	109 5	0 036	0 036	3272 7	3259 4	0 996	93 1	0 028	0 029
	Case-2	3048 1	3028 0	0 993	111 4	0 037	0 037	3272 7	3263 0	0 997	94 8	0 029	0 029
	Case-3	3048 1	3033 5	0 995	111 7	0 037	0 037	3272 7	3267 7	0 998	95 7	0 029	0 029
	Case-4	3048 1	3035 2	0 996	115 6	0 038	0 038	3272 7	3269 0	0 999	98 3	0 030	0 030
	Case-5	3048 1	3047 8	1 000	123 3	0 040	0 040	3272 7	3279 7	1 002	105 9	0 032	0 032

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-PHC(打)	Case-1	1130 9	1130 7	1 000	55 1	0 049	0 049	1363 6	1363 0	1 000	55 9	0 041	0 041
	Case-2	1130 9	1125 8	0 996	58 1	0 051	0 052	1363 6	1358 9	0 997	58 0	0 043	0 043
	Case-3	1130 9	1119 9	0 990	63 3	0 056	0 057	1363 6	1353 9	0 993	61 8	0 045	0 046
	Case-4	1130 9	1117 4	0 988	65 4	0 058	0 058	1363 6	1351 8	0 991	63 4	0 046	0 047
	Case-5	1130 9	1104 0	0 976	76 1	0 067	0 069	1363 6	1340 5	0 983	71 3	0 052	0 053
A-04-PHC(打)	Case-1	1894 7	1908 5	1 007	130 1	0 069	0 068	2365 6	2376 4	1 005	126 9	0 054	0 053
	Case-2	1894 7	1901 6	1 004	133 0	0 070	0 070	2365 6	2370 5	1 002	129 2	0 055	0 054
	Case-3	1894 7	1892 1	0 999	140 4	0 074	0 074	2365 6	2362 4	0 999	134 9	0 057	0 057
	Case-4	1894 7	1888 6	0 997	142 8	0 075	0 076	2365 6	2359 5	0 997	136 8	0 058	0 058
	Case-5	1894 7	1866 3	0 985	161 4	0 085	0 087	2365 6	2340 4	0 989	151 4	0 064	0 065

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-01-PHC(打)						A-04-PHC(打)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	976	24	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	821	179	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	973	27	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	814	186	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	951	49	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	797	203	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	947	53	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	779	221	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	912	88	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	750	250	PC鋼材	1000	0

表−3.3.26　PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（3）
(c) 橋台・常時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(*my*)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(*mu*)
A-05-PHC(打)	Case-1	1215 8	1215 5	1 000	42 7	0 035	0 035	1394 4	1394 0	1 000	41 2	0 030	0 030
	Case-2	1215 8	1218 3	1 002	43 9	0 036	0 036	1394 4	1396 4	1 001	42 1	0 030	0 030
	Case-3	1215 8	1221 5	1 005	45 1	0 037	0 037	1394 4	1399 1	1 003	42 8	0 031	0 031
	Case-4	1215 8	1222 9	1 006	46 8	0 038	0 038	1394 4	1400 2	1 004	44 1	0 032	0 031
	Case-5	1215 8	1229 9	1 012	50 9	0 042	0 041	1394 4	1406 2	1 008	47 3	0 034	0 034
A-08-PHC(打)	Case-1	2631 8	2620 3	0 996	93 2	0 035	0 036	2908 6	2899 1	0 997	80 3	0 028	0 028
	Case-2	2631 8	2625 0	0 997	95 9	0 036	0 037	2908 6	2902 8	0 998	82 3	0 028	0 028
	Case-3	2631 8	2631 5	1 000	98 5	0 037	0 037	2908 6	2907 9	1 000	84 1	0 029	0 029
	Case-4	2631 8	2634 0	1 001	103 1	0 039	0 039	2908 6	2909 7	1 000	87 2	0 030	0 030
	Case-5	2631 8	2649 6	1 007	115 3	0 044	0 044	2908 6	2921 8	1 005	96 6	0 033	0 033

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(*my*)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(*mu*)
A-05-PHC(打)	Case-1	1053 4	1051 8	0 998	42 7	0 041	0 041	1254 3	1252 7	0 999	44 2	0 035	0 035
	Case-2	1053 4	1048 7	0 996	43 7	0 042	0 042	1254 3	1250 0	0 997	45 0	0 036	0 036
	Case-3	1053 4	1045 3	0 992	45 8	0 043	0 044	1254 3	1247 0	0 994	46 7	0 037	0 037
	Case-4	1053 4	1043 8	0 991	46 5	0 044	0 045	1254 3	1245 7	0 993	47 2	0 038	0 038
	Case-5	1053 4	1036 3	0 984	51 1	0 049	0 049	1254 3	1239 0	0 988	50 7	0 040	0 041
A-08-PHC(打)	Case-1	1820 1	1828 1	1 004	95 0	0 052	0 052	2217 5	2224 4	1 003	96 0	0 043	0 043
	Case-2	1820 1	1822 6	1 001	97 5	0 054	0 054	2217 5	2219 5	1 001	98 1	0 044	0 044
	Case-3	1820 1	1814 9	0 997	103 9	0 057	0 057	2217 5	2212 6	0 998	103 3	0 047	0 047
	Case-4	1820 1	1811 9	0 995	106 2	0 058	0 059	2217 5	2210 0	0 997	105 2	0 047	0 048
	Case-5	1820 1	1793 4	0 985	122 3	0 067	0 068	2217 5	2193 4	0 989	118 3	0 053	0 054

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-05-PHC(打)						A-08-PHC(打)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	999	1	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	999	1	PC鋼材	1000	0

表-3.3.27　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-SC(打)	Case-1	1572 7	1572 5	1 000	78 9	0 050	0 050	2134 2	2132 3	0 999	103 1	0 048	0 048
	Case-2	1572 7	1576 1	1 002	81 3	0 052	0 052	2134 2	2135 9	1 001	105 2	0 049	0 049
	Case-3	1572 7	1580 5	1 005	83 3	0 053	0 053	2134 2	2140 5	1 003	106 8	0 050	0 050
	Case-4	1572 7	1582 3	1 006	85 2	0 054	0 054	2134 2	2142 3	1 004	108 5	0 051	0 051
	Case-5	1572 7	1592 4	1 013	90 9	0 058	0 057	2134 2	2152 7	1 009	113 4	0 053	0 053
P-04-SC(打)	Case-1	2298 1	2246 9	0 978	172 7	0 075	0 077	2971 3	2959 5	0 996	145 4	0 049	0 049
	Case-2	2298 1	2247 0	0 978	174 8	0 076	0 078	2971 3	2962 3	0 997	146 4	0 049	0 049
	Case-3	2298 1	2247 4	0 978	176 8	0 077	0 079	2971 3	2965 6	0 998	147 5	0 050	0 050
	Case-4	2298 1	2247 4	0 978	177 9	0 077	0 079	2971 3	2966 7	0 998	148 1	0 050	0 050
	Case-5	2298 1	2246 9	0 978	182 1	0 079	0 081	2971 3	2973 5	1 001	150 8	0 051	0 051

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-SC(打)	Case-1	984 3	983 8	0 999	77 6	0 079	0 079	1472 7	1471 6	0 999	110 0	0 075	0 075
	Case-2	984 3	979 7	0 995	78 4	0 080	0 080	1472 7	1466 9	0 996	110 6	0 075	0 075
	Case-3	984 3	974 6	0 990	81 1	0 082	0 083	1472 7	1461 0	0 992	113 2	0 077	0 077
	Case-4	984 3	972 5	0 988	82 8	0 084	0 085	1472 7	1458 6	0 990	114 9	0 078	0 079
	Case-5	984 3	960 9	0 976	89 2	0 091	0 093	1472 7	1444 9	0 981	121 2	0 082	0 084
P-04-SC(打)	Case-1	912 1	922 7	1 012	118 4	0 130	0 128	1514 7	1526 4	1 008	168 6	0 111	0 110
	Case-2	912 1	917 4	1 006	118 3	0 130	0 129	1514 7	1520 1	1 004	168 3	0 111	0 111
	Case-3	912 1	911 3	0 999	121 1	0 133	0 133	1514 7	1512 7	0 999	171 1	0 113	0 113
	Case-4	912 1	909 1	0 997	122 5	0 134	0 135	1514 7	1510 0	0 997	172 6	0 114	0 114
	Case-5	912 1	896 1	0 982	129 8	0 142	0 145	1514 7	1494 3	0 987	180 3	0 119	0 121

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
P-01-SC(打)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
P-04-SC(打)	Case-1	鋼管(圧)	474	526	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(圧)	455	545	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(圧)	435	565	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(圧)	437	563	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(圧)	398	602	0	鋼管(引)	1000	0	0

表-3.3.27　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-SC(打)	Case-1	1007 6	1007 8	1 000	58 3	0 058	0 058	1371 2	1370 0	0 999	75 7	0 055	0 055
	Case-2	1007 6	1010 9	1 003	60 6	0 060	0 060	1371 2	1372 4	1 001	77 1	0 056	0 056
	Case-3	1007 6	1014 5	1 007	62 7	0 062	0 062	1371 2	1375 4	1 003	78 1	0 057	0 057
	Case-4	1007 6	1015 9	1 008	64 4	0 064	0 063	1371 2	1376 6	1 004	79 2	0 058	0 058
	Case-5	1007 6	1023 7	1 016	69 6	0 069	0 068	1371 2	1383 4	1 009	82 3	0 060	0 059
A-04-SC(打)	Case-1	1434 7	1422 4	0 991	82 1	0 057	0 058	1871 3	1864 6	0 996	90 3	0 048	0 048
	Case-2	1434 7	1425 3	0 993	85 2	0 059	0 060	1871 3	1867 9	0 998	91 8	0 049	0 049
	Case-3	1434 7	1428 0	0 995	88 1	0 061	0 062	1871 3	1871 7	1 000	93 1	0 050	0 050
	Case-4	1434 7	1428 7	0 996	89 9	0 063	0 063	1871 3	1873 2	1 001	94 3	0 050	0 050
	Case-5	1434 7	1433 8	0 999	96 0	0 067	0 067	1871 3	1881 2	1 005	98 4	0 053	0 052

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-SC(打)	Case-1	691 3	690 8	0 999	58 5	0 085	0 085	1052 6	1051 4	0 999	82 4	0 078	0 078
	Case-2	691 3	687 2	0 994	59 5	0 086	0 087	1052 6	1047 4	0 995	83 1	0 079	0 079
	Case-3	691 3	682 9	0 988	62 1	0 090	0 091	1052 6	1042 5	0 990	85 6	0 081	0 082
	Case-4	691 3	681 1	0 985	63 8	0 092	0 094	1052 6	1040 4	0 988	87 2	0 083	0 084
	Case-5	691 3	671 0	0 971	70 0	0 101	0 104	1052 6	1028 9	0 977	93 2	0 089	0 091
A-04-SC(打)	Case-1	677 2	682 0	1 007	73 0	0 108	0 107	1069 1	1074 2	1 005	102 2	0 096	0 095
	Case-2	677 2	676 8	0 999	74 0	0 109	0 109	1069 1	1068 1	0 999	103 0	0 096	0 096
	Case-3	677 2	670 8	0 991	77 7	0 115	0 116	1069 1	1061 1	0 992	106 8	0 100	0 101
	Case-4	677 2	668 4	0 987	79 8	0 118	0 119	1069 1	1058 2	0 990	108 8	0 102	0 103
	Case-5	677 2	655 4	0 968	89 0	0 131	0 136	1069 1	1042 8	0 975	118 5	0 111	0 114

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
A-01-SC(打)	Case-1	鋼管(引)	999	1	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	996	4	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	989	11	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	991	9	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	959	41	0	鋼管(引)	1000	0	0
A-04-SC(打)	Case-1	鋼管(引)	848	152	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	829	171	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	807	193	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	786	214	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	745	255	0	鋼管(引)	1000	0	0

表-3.3.27　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（3）

(c) 橋台・常時

押込み側 （$P_{N\max}$)

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(my)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(mu)
A-05-SC(打)	Case-1	656 2	656 5	1 000	37 0	0 056	0 056	913 5	913 3	1 000	49 5	0 054	0 054
	Case-2	656 2	658 2	1 003	38 0	0 058	0 058	913 5	915 1	1 002	50 5	0 055	0 055
	Case-3	656 2	660 2	1 006	38 9	0 059	0 059	913 5	917 3	1 004	51 2	0 056	0 056
	Case-4	656 2	661 1	1 007	39 8	0 061	0 060	913 5	918 2	1 005	52 0	0 057	0 057
	Case-5	656 2	665 8	1 015	42 3	0 065	0 064	913 5	923 3	1 011	54 3	0 059	0 059
A-08-SC(打)	Case-1	1246 5	1241 6	0 996	60 7	0 049	0 049	1619 7	1615 2	0 997	71 2	0 044	0 044
	Case-2	1246 5	1245 0	0 999	63 2	0 051	0 051	1619 7	1618 6	0 999	73 0	0 045	0 045
	Case-3	1246 5	1248 4	1 002	66 1	0 053	0 053	1619 7	1622 6	1 002	74 6	0 046	0 046
	Case-4	1246 5	1249 9	1 003	67 9	0 054	0 054	1619 7	1624 1	1 003	76 1	0 047	0 047
	Case-5	1246 5	1256 8	1 008	74 5	0 060	0 059	1619 7	1632 6	1 008	81 1	0 050	0 050

引抜き側 （$P_{N\min}$)

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(my)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(mu)
A-05-SC(打)	Case-1	555 7	555 0	0 999	36 7	0 066	0 066	801 2	800 2	0 999	50 7	0 063	0 063
	Case-2	555 7	553 3	0 996	37 0	0 067	0 067	801 2	798 2	0 996	50 9	0 064	0 064
	Case-3	555 7	551 1	0 992	38 0	0 068	0 069	801 2	795 7	0 993	51 9	0 065	0 065
	Case-4	555 7	550 2	0 990	38 7	0 070	0 070	801 2	794 7	0 992	52 5	0 066	0 066
	Case-5	555 7	545 1	0 981	41 1	0 074	0 075	801 2	788 9	0 985	54 9	0 068	0 070
A-08-SC(打)	Case-1	750 3	752 3	1 003	55 6	0 074	0 074	1087 2	1089 1	1 002	75 3	0 069	0 069
	Case-2	750 3	747 7	0 997	56 9	0 076	0 076	1087 2	1083 9	0 997	76 5	0 070	0 071
	Case-3	750 3	742 5	0 990	60 4	0 081	0 081	1087 2	1077 8	0 991	80 0	0 074	0 074
	Case-4	750 3	740 3	0 987	62 5	0 083	0 084	1087 2	1075 3	0 989	82 0	0 075	0 076
	Case-5	750 3	728 8	0 971	71 0	0 095	0 097	1087 2	1061 9	0 977	90 9	0 084	0 086

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
A-05-SC(打)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
A-08-SC(打)	Case-1	鋼管(引)	932	68	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	922	78	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	907	93	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	902	98	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	871	129	0	鋼管(引)	1000	0	0

(3) 中掘り杭工法

表-3.3.28 PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側 （$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-PHC(中)	Case-1	1164 6	1163 2	0 999	24 5	0 021	0 021	1250 7	1248 6	0 998	27 8	0 022	0 022
	Case-2	1164 6	1163 9	0 999	24 9	0 021	0 021	1250 7	1249 5	0 999	28 3	0 023	0 023
	Case-3	1164 6	1164 7	1 000	24 9	0 021	0 021	1250 7	1250 6	1 000	28 5	0 023	0 023
	Case-4	1164 6	1164 9	1 000	25 3	0 022	0 022	1250 7	1250 9	1 000	28 9	0 023	0 023
	Case-5	1164 6	1166 8	1 002	26 3	0 023	0 023	1250 7	1253 4	1 002	30 3	0 024	0 024
P-04-PHC(中)	Case-1	1021 6	1016 0	0 995	31 7	0 031	0 031	1104 4	1100 1	0 996	26 9	0 024	0 024
	Case-2	1021 6	1016 8	0 995	32 2	0 032	0 032	1104 4	1100 7	0 997	27 3	0 025	0 025
	Case-3	1021 6	1017 9	0 996	32 1	0 031	0 032	1104 4	1101 5	0 997	27 2	0 025	0 025
	Case-4	1021 6	1018 1	0 997	32 9	0 032	0 032	1104 4	1101 7	0 998	27 7	0 025	0 025
	Case-5	1021 6	1020 5	0 999	33 5	0 033	0 033	1104 4	1103 5	0 999	28 3	0 026	0 026

引抜き側 （$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-PHC(中)	Case-1	798 3	798 5	1 000	37 2	0 047	0 047	950 8	950 6	1 000	37 2	0 039	0 039
	Case-2	798 3	796 0	0 997	38 7	0 048	0 049	950 8	948 5	0 998	38 3	0 040	0 040
	Case-3	798 3	792 9	0 993	41 1	0 051	0 052	950 8	945 9	0 995	40 1	0 042	0 042
	Case-4	798 3	791 7	0 992	42 1	0 053	0 053	950 8	944 9	0 994	40 8	0 043	0 043
	Case-5	798 3	784 5	0 983	46 9	0 059	0 060	950 8	938 9	0 987	44 3	0 047	0 047
P-04-PHC(中)	Case-1	528 6	533 5	1 009	33 7	0 064	0 063	686 6	690 3	1 005	36 8	0 054	0 053
	Case-2	528 6	532 5	1 007	34 2	0 065	0 064	686 6	689 4	1 004	37 2	0 054	0 054
	Case-3	528 6	531 1	1 005	34 7	0 066	0 065	686 6	688 1	1 002	37 7	0 055	0 055
	Case-4	528 6	530 7	1 004	34 9	0 066	0 066	686 6	687 8	1 002	37 7	0 055	0 055
	Case-5	528 6	527 7	0 998	36 0	0 068	0 068	686 6	685 0	0 998	38 7	0 056	0 056

■降伏曲げモーメントの決定要因

	P-01-PHC(中)						P-04-PHC(中)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	55	945	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	980	20	PC鋼材	1000	0
Case-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	60	940	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	978	22	PC鋼材	1000	0
Case-3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	61	939	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	980	20	PC鋼材	1000	0
Case-4	ｺﾝｸﾘｰﾄ	59	941	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	976	24	PC鋼材	1000	0
Case-5	ｺﾝｸﾘｰﾄ	51	949	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	975	25	PC鋼材	1000	0

表−3.3.28　PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-PHC(中)	Case-1	2203 9	2196 7	0 997	72 8	0 033	0 033	2388 2	2383 2	0 998	62 5	0 026	0 026
	Case-2	2203 9	2202 2	0 999	77 1	0 035	0 035	2388 2	2387 3	1 000	65 4	0 027	0 027
	Case-3	2203 9	2208 9	1 002	79 3	0 036	0 036	2388 2	2392 3	1 002	67 2	0 028	0 028
	Case-4	2203 9	2211 1	1 003	84 2	0 038	0 038	2388 2	2394 1	1 002	70 3	0 029	0 029
	Case-5	2203 9	2224 8	1 009	91 6	0 042	0 041	2388 2	2405 0	1 007	77 5	0 032	0 032
A-04-PHC(中)	Case-1	4916 4	4880 0	0 993	210 8	0 043	0 043	5375 6	5347 9	0 995	170 8	0 032	0 032
	Case-2	4916 4	4892 5	0 995	217 5	0 044	0 044	5375 6	5356 9	0 997	175 3	0 033	0 033
	Case-3	4916 4	4907 6	0 998	220 7	0 045	0 045	5375 6	5368 0	0 999	177 9	0 033	0 033
	Case-4	4916 4	4913 4	0 999	231 0	0 047	0 047	5375 6	5372 0	0 999	184 4	0 034	0 034
	Case-5	4916 4	4947 0	1 006	247 5	0 050	0 050	5375 6	5396 9	1 004	198 0	0 037	0 037

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-PHC(中)	Case-1	1534 1	1536 8	1 002	78 6	0 051	0 051	1863 5	1865 1	1 001	79 5	0 043	0 043
	Case-2	1534 1	1529 2	0 997	84 6	0 055	0 055	1863 5	1858 6	0 997	83 8	0 045	0 045
	Case-3	1534 1	1519 8	0 991	92 6	0 060	0 061	1863 5	1850 7	0 993	90 0	0 048	0 049
	Case-4	1534 1	1515 9	0 988	97 1	0 063	0 064	1863 5	1847 5	0 991	93 3	0 050	0 050
	Case-5	1534 1	1494 8	0 974	114 0	0 074	0 076	1863 5	1829 5	0 982	106 1	0 057	0 058
A-04-PHC(中)	Case-1	3212 4	3241 9	1 009	235 6	0 073	0 073	4003 5	4027 4	1 006	226 2	0 057	0 056
	Case-2	3212 4	3226 0	1 004	243 9	0 076	0 076	4003 5	4013 7	1 003	232 9	0 058	0 058
	Case-3	3212 4	3206 0	0 998	256 5	0 080	0 080	4003 5	3996 4	0 998	243 5	0 061	0 061
	Case-4	3212 4	3197 4	0 995	264 8	0 082	0 083	4003 5	3989 1	0 996	249 9	0 062	0 063
	Case-5	3212 4	3150 8	0 981	297 7	0 093	0 094	4003 5	3948 6	0 986	277 1	0 069	0 070

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-01-PHC(中)						A-04-PHC(中)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	949	51	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	977	23	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	929	71	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	973	27	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	914	86	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	969	31	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	883	117	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	960	40	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	853	147	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	935	65	PC鋼材	1000	0

表−3.3.28　PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（3）
(c) 橋台・常時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-PHC(中)	Case-1	652 2	651 1	0 998	23 5	0 036	0 036	722 1	720 9	0 998	20 7	0 029	0 029
	Case-2	652 2	652 4	1 000	24 3	0 037	0 037	722 1	721 9	1 000	21 2	0 029	0 029
	Case-3	652 2	654 0	1 003	24 8	0 038	0 038	722 1	723 1	1 001	21 4	0 030	0 030
	Case-4	652 2	654 7	1 004	25 9	0 040	0 040	722 1	723 6	1 002	22 1	0 031	0 031
	Case-5	652 2	658 4	1 009	27 9	0 043	0 042	722 1	726 3	1 006	23 5	0 033	0 032
A-08-PHC(中)	Case-1	2930 1	2911 2	0 994	104 6	0 036	0 036	3373 0	3355 8	0 995	103 6	0 031	0 031
	Case-2	2930 1	2916 9	0 996	109 1	0 037	0 037	3373 0	3361 3	0 997	107 7	0 032	0 032
	Case-3	2930 1	2924 0	0 998	111 6	0 038	0 038	3373 0	3368 0	0 999	109 8	0 033	0 033
	Case-4	2930 1	2926 6	0 999	117 6	0 040	0 040	3373 0	3370 4	0 999	115 3	0 034	0 034
	Case-5	2930 1	2943 5	1 005	128 9	0 044	0 044	3373 0	3386 4	1 004	125 9	0 037	0 037

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-PHC(中)	Case-1	515 0	515 2	1 000	24 1	0 047	0 047	613 1	613 0	1 000	24 1	0 039	0 039
	Case-2	515 0	513 7	0 997	24 9	0 048	0 048	613 1	611 8	0 998	24 7	0 040	0 040
	Case-3	515 0	511 8	0 994	26 1	0 051	0 051	613 1	610 2	0 995	25 7	0 042	0 042
	Case-4	515 0	511 0	0 992	26 6	0 052	0 052	613 1	609 6	0 994	26 0	0 042	0 043
	Case-5	515 0	506 8	0 984	29 3	0 057	0 058	613 1	606 0	0 988	27 9	0 045	0 046
A-08-PHC(中)	Case-1	1976 7	1992 8	1 008	106 8	0 054	0 054	2435 2	2451 5	1 007	119 5	0 049	0 049
	Case-2	1976 7	1986 5	1 005	111 1	0 056	0 056	2435 2	2445 2	1 004	123 5	0 051	0 050
	Case-3	1976 7	1978 9	1 001	116 1	0 059	0 059	2435 2	2437 3	1 001	128 4	0 053	0 053
	Case-4	1976 7	1976 0	1 000	119 6	0 061	0 061	2435 2	2434 4	1 000	131 5	0 054	0 054
	Case-5	1976 7	1957 6	0 990	132 8	0 067	0 068	2435 2	2415 6	0 992	144 1	0 059	0 060

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-05-PHC(中)						A-08-PHC(中)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	997	3	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	996	4	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	997	3	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	989	11	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0

表-3.3.29　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-SC(中)	Case-1	899 9	898 5	0 998	38 1	0 042	0 042	1186 0	1183 8	0 998	48 0	0 040	0 041
	Case-2	899 9	900 8	1 001	40 0	0 044	0 044	1186 0	1186 3	1 000	49 9	0 042	0 042
	Case-3	899 9	903 7	1 004	41 6	0 046	0 046	1186 0	1189 5	1 003	51 4	0 043	0 043
	Case-4	899 9	904 8	1 005	43 2	0 048	0 048	1186 0	1190 6	1 004	53 0	0 045	0 045
	Case-5	899 9	911 3	1 013	47 6	0 053	0 052	1186 0	1197 7	1 010	57 4	0 048	0 048
P-04-SC(中)	Case-1	2286 4	2266 2	0 991	116 8	0 051	0 052	3025 1	3000 7	0 992	144 0	0 048	0 048
	Case-2	2286 4	2269 8	0 993	119 7	0 052	0 053	3025 1	3004 8	0 993	147 0	0 049	0 049
	Case-3	2286 4	2274 7	0 995	120 6	0 053	0 053	3025 1	3010 3	0 995	148 0	0 049	0 049
	Case-4	2286 4	2276 1	0 995	123 1	0 054	0 054	3025 1	3011 8	0 996	150 5	0 050	0 050
	Case-5	2286 4	2287 0	1 000	127 5	0 056	0 056	3025 1	3024 1	1 000	155 2	0 051	0 051

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-SC(中)	Case-1	440 0	441 0	1 002	36 0	0 082	0 082	657 0	657 9	1 001	50 9	0 077	0 077
	Case-2	440 0	438 3	0 996	37 4	0 085	0 085	657 0	654 8	0 997	52 1	0 079	0 080
	Case-3	440 0	434 8	0 988	39 7	0 090	0 091	657 0	650 7	0 990	54 4	0 083	0 084
	Case-4	440 0	433 5	0 985	41 6	0 095	0 096	657 0	649 2	0 988	56 3	0 086	0 087
	Case-5	440 0	425 7	0 968	47 0	0 107	0 110	657 0	640 0	0 974	61 8	0 094	0 097
P-04-SC(中)	Case-1	904 8	926 6	1 024	117 7	0 130	0 127	1421 4	1446 6	1 018	157 6	0 111	0 109
	Case-2	904 8	922 2	1 019	119 2	0 132	0 129	1421 4	1441 4	1 014	159 0	0 112	0 110
	Case-3	904 8	916 4	1 013	120 6	0 133	0 132	1421 4	1434 6	1 009	160 4	0 113	0 112
	Case-4	904 8	914 7	1 011	123 4	0 136	0 135	1421 4	1432 6	1 008	163 2	0 115	0 114
	Case-5	904 8	901 5	0 996	128 5	0 142	0 143	1421 4	1417 2	0 997	168 6	0 119	0 119

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
P-01-SC(中)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
P-04-SC(中)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0

表−3.3.29　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(my)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(mu)
A-01-SC(中)	Case-1	2580 2	2573 8	0 998	133 7	0 052	0 052	3502 9	3493 5	0 997	172 8	0 049	0 049
	Case-2	2580 2	2584 8	1 002	144 5	0 056	0 056	3502 9	3505 3	1 001	183 2	0 052	0 052
	Case-3	2580 2	2598 4	1 007	153 5	0 060	0 059	3502 9	3520 0	1 005	191 5	0 055	0 054
	Case-4	2580 2	2603 9	1 009	162 3	0 063	0 062	3502 9	3525 8	1 007	199 9	0 057	0 057
	Case-5	2580 2	2634 5	1 021	185 5	0 072	0 070	3502 9	3558 8	1 016	222 2	0 063	0 062
A-04-SC(中)	Case-1	4765 0	4739 4	0 995	311 9	0 065	0 066	6529 1	6495 9	0 995	382 3	0 059	0 059
	Case-2	4765 0	4758 0	0 999	324 1	0 068	0 068	6529 1	6512 7	0 997	391 3	0 060	0 060
	Case-3	4765 0	4779 3	1 003	332 3	0 070	0 070	6529 1	6532 3	1 000	396 7	0 061	0 061
	Case-4	4765 0	4787 5	1 005	343 0	0 072	0 072	6529 1	6540 0	1 002	405 0	0 062	0 062
	Case-5	4765 0	4833 8	1 014	369 7	0 078	0 076	6529 1	6582 6	1 008	424 2	0 065	0 064

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(my)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(mu)
A-01-SC(中)	Case-1	1491 8	1497 4	1 004	131 1	0 088	0 088	2252 0	2257 9	1 003	183 6	0 082	0 081
	Case-2	1491 8	1484 7	0 995	139 1	0 093	0 094	2252 0	2243 0	0 996	190 9	0 085	0 085
	Case-3	1491 8	1468 9	0 985	151 5	0 102	0 103	2252 0	2224 5	0 988	203 7	0 090	0 092
	Case-4	1491 8	1462 3	0 980	161 3	0 108	0 110	2252 0	2216 8	0 984	213 6	0 095	0 096
	Case-5	1491 8	1426 3	0 956	189 6	0 127	0 133	2252 0	2174 4	0 966	243 7	0 108	0 112
A-04-SC(中)	Case-1	2937 1	2962 3	1 009	318 6	0 108	0 108	4550 6	4577 3	1 006	431 6	0 095	0 094
	Case-2	2937 1	2940 8	1 001	325 2	0 111	0 111	4550 6	4552 2	1 000	437 7	0 096	0 096
	Case-3	2937 1	2916 0	0 993	337 8	0 115	0 116	4550 6	4523 1	0 994	451 1	0 099	0 100
	Case-4	2937 1	2905 5	0 989	348 0	0 118	0 120	4550 6	4510 7	0 991	461 3	0 101	0 102
	Case-5	2937 1	2849 9	0 970	381 3	0 130	0 134	4550 6	4445 1	0 977	496 8	0 109	0 112

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
A-01-SC(中)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
A-04-SC(中)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	999	1	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	995	5	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	991	9	0	鋼管(引)	1000	0	0

表-3.3.29　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（3）

(c) 橋台・常時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(my)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(mu)
A-05-SC(中)	Case-1	578 0	577 3	0 999	32 2	0 056	0 056	801 1	799 9	0 998	42 9	0 054	0 054
	Case-2	578 0	579 2	1 002	33 9	0 059	0 058	801 1	802 0	1 001	44 5	0 056	0 056
	Case-3	578 0	581 7	1 006	35 2	0 061	0 061	801 1	804 8	1 005	45 8	0 057	0 057
	Case-4	578 0	582 7	1 008	36 6	0 063	0 063	801 1	805 8	1 006	47 1	0 059	0 058
	Case-5	578 0	588 3	1 018	40 3	0 070	0 068	801 1	812 0	1 014	50 7	0 063	0 062
A-08-SC(中)	Case-1	1226 0	1217 0	0 993	72 8	0 059	0 060	1659 0	1648 0	0 993	91 2	0 055	0 055
	Case-2	1226 0	1221 4	0 996	75 5	0 062	0 062	1659 0	1652 8	0 996	94 1	0 057	0 057
	Case-3	1226 0	1226 7	1 001	77 9	0 064	0 064	1659 0	1658 8	1 000	96 5	0 058	0 058
	Case-4	1226 0	1229 0	1 002	80 9	0 066	0 066	1659 0	1661 3	1 001	99 5	0 060	0 060
	Case-5	1226 0	1241 2	1 012	88 7	0 072	0 071	1659 0	1675 0	1 010	107 4	0 065	0 064

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV(my)	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV(mu)
A-05-SC(中)	Case-1	378 5	379 1	1 002	31 7	0 084	0 084	572 0	572 6	1 001	45 0	0 079	0 079
	Case-2	378 5	376 9	0 996	32 6	0 086	0 087	572 0	570 0	0 997	45 7	0 080	0 080
	Case-3	378 5	374 2	0 989	34 4	0 091	0 092	572 0	566 8	0 991	47 5	0 083	0 084
	Case-4	378 5	373 1	0 986	35 7	0 094	0 096	572 0	565 5	0 989	48 8	0 085	0 086
	Case-5	378 5	366 7	0 969	39 9	0 105	0 109	572 0	558 0	0 976	53 0	0 093	0 095
A-08-SC(中)	Case-1	731 0	739 8	1 012	73 2	0 100	0 099	1087 1	1097 1	1 009	96 9	0 089	0 088
	Case-2	731 0	734 9	1 005	74 8	0 102	0 102	1087 1	1091 4	1 004	98 5	0 091	0 090
	Case-3	731 0	728 8	0 997	78 1	0 107	0 107	1087 1	1084 3	0 997	102 0	0 094	0 094
	Case-4	731 0	726 2	0 993	80 9	0 111	0 111	1087 1	1081 2	0 995	104 9	0 096	0 097
	Case-5	731 0	712 1	0 974	90 2	0 123	0 127	1087 1	1064 7	0 979	114 9	0 106	0 108

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
A-05-SC(中)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
A-08-SC(中)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0

(4) プレボーリング杭工法

表−3.3.30 PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-PHC(プ)	Case-1	1709 0	1707 5	0 999	36 2	0 021	0 021	1834 4	1832 1	0 999	41 0	0 022	0 022
	Case-2	1709 0	1708 5	1 000	36 8	0 022	0 022	1834 4	1833 5	0 999	41 7	0 023	0 023
	Case-3	1709 0	1709 8	1 000	36 9	0 022	0 022	1834 4	1835 2	1 000	42 1	0 023	0 023
	Case-4	1709 0	1710 1	1 001	37 4	0 022	0 022	1834 4	1835 7	1 001	42 7	0 023	0 023
	Case-5	1709 0	1713 0	1 002	39 1	0 023	0 023	1834 4	1839 6	1 003	44 8	0 024	0 024
P-04-PHC(プ)	Case-1	1661 2	1656 9	0 997	34 1	0 021	0 021	1765 3	1761 0	0 998	37 0	0 021	0 021
	Case-2	1661 2	1657 5	0 998	34 5	0 021	0 021	1765 3	1761 7	0 998	37 4	0 021	0 021
	Case-3	1661 2	1658 3	0 998	34 5	0 021	0 021	1765 3	1762 8	0 999	37 5	0 021	0 021
	Case-4	1661 2	1658 5	0 998	34 8	0 021	0 021	1765 3	1763 1	0 999	37 9	0 021	0 021
	Case-5	1661 2	1660 4	1 000	35 9	0 022	0 022	1765 3	1765 5	1 000	39 2	0 022	0 022

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-PHC(プ)	Case-1	1136 7	1135 1	0 999	53 6	0 047	0 047	1368 4	1366 6	0 999	54 8	0 040	0 040
	Case-2	1136 7	1130 9	0 995	56 3	0 050	0 050	1368 4	1363 2	0 996	56 6	0 041	0 042
	Case-3	1136 7	1125 7	0 990	60 6	0 053	0 054	1368 4	1358 8	0 993	59 8	0 044	0 044
	Case-4	1136 7	1123 6	0 988	62 3	0 055	0 055	1368 4	1357 0	0 992	61 1	0 045	0 045
	Case-5	1136 7	1111 7	0 978	71 0	0 062	0 064	1368 4	1347 0	0 984	67 3	0 049	0 050
P-04-PHC(プ)	Case-1	719 5	724 1	1 006	46 6	0 065	0 064	956 6	960 1	1 004	54 1	0 057	0 056
	Case-2	719 5	722 1	1 004	47 9	0 067	0 066	956 6	958 2	1 002	55 2	0 058	0 058
	Case-3	719 5	719 3	1 000	49 8	0 069	0 069	956 6	955 5	0 999	56 8	0 059	0 059
	Case-4	719 5	718 3	0 998	50 2	0 070	0 070	956 6	954 6	0 998	57 0	0 060	0 060
	Case-5	719 5	711 7	0 989	54 3	0 076	0 076	956 6	948 3	0 991	60 4	0 063	0 064

■降伏曲げモーメントの決定要因

	P-01-PHC(プ)						P-04-PHC(プ)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	57	943	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	118	882	PC鋼材	1000	0
Case-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	56	944	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	113	887	PC鋼材	1000	0
Case-3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	59	941	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	108	892	PC鋼材	1000	0
Case-4	ｺﾝｸﾘｰﾄ	52	948	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	109	891	PC鋼材	1000	0
Case-5	ｺﾝｸﾘｰﾄ	57	943	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	102	898	PC鋼材	1000	0

表−3.3.30 PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-PHC(プ)	Case-1	3014 0	3007 6	0 998	93 9	0 031	0 031	3249 8	3246 6	0 999	81 5	0 025	0 025
	Case-2	3014 0	3014 1	1 000	97 5	0 032	0 032	3249 8	3251 7	1 001	84 3	0 026	0 026
	Case-3	3014 0	3022 0	1 003	99 8	0 033	0 033	3249 8	3257 7	1 002	86 2	0 027	0 026
	Case-4	3014 0	3024 4	1 003	104 3	0 035	0 034	3249 8	3260 0	1 003	89 1	0 027	0 027
	Case-5	3014 0	3040 2	1 009	112 0	0 037	0 037	3249 8	3272 8	1 007	97 2	0 030	0 030
A-04-PHC(プ)	Case-1	5382 8	5315 7	0 988	154 7	0 029	0 029	5697 2	5677 1	0 996	146 8	0 026	0 026
	Case-2	5382 8	5321 4	0 989	159 3	0 030	0 030	5697 2	5684 3	0 998	152 2	0 027	0 027
	Case-3	5382 8	5330 4	0 990	162 6	0 030	0 030	5697 2	5694 0	0 999	155 4	0 027	0 027
	Case-4	5382 8	5330 0	0 990	166 5	0 031	0 031	5697 2	5696 9	1 000	160 2	0 028	0 028
	Case-5	5382 8	5348 7	0 994	176 6	0 033	0 033	5697 2	5718 1	1 004	174 2	0 031	0 030

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-PHC(プ)	Case-1	1970 7	1968 4	0 999	100 3	0 051	0 051	2430 0	2427 3	0 999	105 0	0 043	0 043
	Case-2	1970 7	1958 5	0 994	107 0	0 054	0 055	2430 0	2418 9	0 995	109 7	0 045	0 045
	Case-3	1970 7	1946 7	0 988	116 5	0 059	0 060	2430 0	2408 8	0 991	116 9	0 048	0 049
	Case-4	1970 7	1941 6	0 985	120 9	0 061	0 062	2430 0	2404 6	0 990	120 0	0 049	0 050
	Case-5	1970 7	1915 7	0 972	141 2	0 072	0 074	2430 0	2382 4	0 980	135 3	0 056	0 057
A-04-PHC(プ)	Case-1	2844 7	2866 7	1 008	211 9	0 074	0 074	3688 2	3704 4	1 004	216 3	0 059	0 058
	Case-2	2844 7	2847 8	1 001	228 8	0 080	0 080	3688 2	3687 5	1 000	229 8	0 062	0 062
	Case-3	2844 7	2822 3	0 992	252 0	0 089	0 089	3688 2	3664 7	0 994	249 7	0 068	0 068
	Case-4	2844 7	2812 0	0 989	263 7	0 093	0 094	3688 2	3655 4	0 991	259 3	0 070	0 071
	Case-5	2844 7	2752 8	0 968	315 3	0 111	0 115	3688 2	3601 4	0 976	304 9	0 083	0 085

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-01-PHC(プ)						A-04-PHC(プ)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	903	97	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	481	519	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	881	119	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	468	532	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	862	138	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	435	565	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	830	170	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	430	570	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	789	211	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	382	618	PC鋼材	1000	0

表−3.3.30 PHC 杭の抵抗値の変化率の統計量（3）

(c) 橋台・常時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-PHC(プ)	Case-1	2027 9	2026 2	0 999	73 7	0 036	0 036	2260 8	2258 8	0 999	65 3	0 029	0 029
	Case-2	2027 9	2031 8	1 002	77 8	0 038	0 038	2260 8	2262 9	1 001	67 9	0 030	0 030
	Case-3	2027 9	2038 5	1 005	81 0	0 040	0 040	2260 8	2268 0	1 003	69 7	0 031	0 031
	Case-4	2027 9	2041 4	1 007	85 8	0 042	0 042	2260 8	2269 9	1 004	72 6	0 032	0 032
	Case-5	2027 9	2056 8	1 014	96 2	0 047	0 047	2260 8	2281 2	1 009	79 7	0 035	0 035
A-08-PHC(プ)	Case-1	1684 7	1672 6	0 993	42 0	0 025	0 025	1794 7	1789 7	0 997	44 2	0 025	0 025
	Case-2	1684 7	1673 9	0 994	42 7	0 025	0 026	1794 7	1791 4	0 998	45 1	0 025	0 025
	Case-3	1684 7	1675 8	0 995	43 2	0 026	0 026	1794 7	1793 6	0 999	45 6	0 025	0 025
	Case-4	1684 7	1675 9	0 995	43 9	0 026	0 026	1794 7	1794 4	1 000	46 6	0 026	0 026
	Case-5	1684 7	1680 0	0 997	46 0	0 027	0 027	1794 7	1799 5	1 003	49 6	0 028	0 028

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-PHC(プ)	Case-1	1591 6	1590 0	0 999	74 2	0 047	0 047	1911 7	1909 7	0 999	75 3	0 039	0 039
	Case-2	1591 6	1583 6	0 995	78 5	0 049	0 050	1911 7	1904 3	0 996	78 4	0 041	0 041
	Case-3	1591 6	1575 7	0 990	85 0	0 053	0 054	1911 7	1897 7	0 993	83 2	0 044	0 044
	Case-4	1591 6	1572 3	0 988	87 8	0 055	0 056	1911 7	1894 9	0 991	85 3	0 045	0 045
	Case-5	1591 6	1554 5	0 977	101 2	0 064	0 065	1911 7	1879 7	0 983	95 2	0 050	0 051
A-08-PHC(プ)	Case-1	1166 9	1171 0	1 004	59 1	0 051	0 050	1393 6	1396 4	1 002	57 7	0 041	0 041
	Case-2	1166 9	1167 2	1 000	61 7	0 053	0 053	1393 6	1393 3	1 000	59 6	0 043	0 043
	Case-3	1166 9	1161 9	0 996	65 9	0 056	0 057	1393 6	1388 8	0 997	62 8	0 045	0 045
	Case-4	1166 9	1159 8	0 994	67 5	0 058	0 058	1393 6	1387 1	0 995	64 0	0 046	0 046
	Case-5	1166 9	1147 4	0 983	76 8	0 066	0 067	1393 6	1376 7	0 988	70 9	0 051	0 052

■降伏曲げモーメントの決定要因

	A-05-PHC(プ)						A-08-PHC(プ)					
	押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)			押込み側($N=P_{N\max}$)			引抜き側($N=P_{N\min}$)		
	公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数	
		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ		PC鋼材	ｺﾝｸﾘｰﾄ
Case-1	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	315	685	PC鋼材	1000	0
Case-2	PC鋼材	1000	0	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	309	691	PC鋼材	1000	0
Case-3	PC鋼材	999	1	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	298	702	PC鋼材	1000	0
Case-4	PC鋼材	999	1	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	315	685	PC鋼材	1000	0
Case-5	PC鋼材	997	3	PC鋼材	1000	0	ｺﾝｸﾘｰﾄ	275	725	PC鋼材	1000	0

表-3.3.31　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（1）

(a) 橋脚・レベル 1 地震時

押込み側 （$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-SC(プ)	Case-1	1397 0	1396 9	1 000	60 2	0 043	0 043	1849 3	1847 9	0 999	76 6	0 041	0 041
	Case-2	1397 0	1400 7	1 003	63 3	0 045	0 045	1849 3	1851 9	1 001	79 5	0 043	0 043
	Case-3	1397 0	1405 3	1 006	65 9	0 047	0 047	1849 3	1856 9	1 004	81 9	0 044	0 044
	Case-4	1397 0	1407 3	1 007	68 3	0 049	0 049	1849 3	1858 9	1 005	84 2	0 046	0 045
	Case-5	1397 0	1417 8	1 015	75 4	0 054	0 053	1849 3	1870 2	1 011	91 0	0 049	0 049
P-04-SC(プ)	Case-1	4451 7	4428 2	0 995	230 3	0 052	0 052	5931 3	5901 3	0 995	286 3	0 048	0 049
	Case-2	4451 7	4435 7	0 996	237 1	0 053	0 053	5931 3	5908 4	0 996	291 7	0 049	0 049
	Case-3	4451 7	4446 3	0 999	240 7	0 054	0 054	5931 3	5918 4	0 998	294 1	0 050	0 050
	Case-4	4451 7	4449 7	1 000	244 6	0 055	0 055	5931 3	5921 7	0 998	297 2	0 050	0 050
	Case-5	4451 7	4473 7	1 005	257 2	0 058	0 057	5931 3	5944 3	1 002	307 5	0 052	0 052

引抜き側 （$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
P-01-SC(プ)	Case-1	691 8	690 9	0 999	58 2	0 084	0 084	1041 2	1040 0	0 999	82 6	0 079	0 079
	Case-2	691 8	686 5	0 992	60 1	0 087	0 088	1041 2	1034 8	0 994	84 3	0 081	0 081
	Case-3	691 8	680 9	0 984	64 0	0 093	0 094	1041 2	1028 2	0 988	88 2	0 085	0 086
	Case-4	691 8	678 5	0 981	66 7	0 096	0 098	1041 2	1025 5	0 985	90 8	0 087	0 089
	Case-5	691 8	665 8	0 962	75 5	0 109	0 113	1041 2	1010 5	0 971	99 9	0 096	0 099
P-04-SC(プ)	Case-1	2079 2	2103 7	1 012	247 2	0 119	0 117	3299 4	3326 9	1 008	342 0	0 104	0 103
	Case-2	2079 2	2094 3	1 007	249 9	0 120	0 119	3299 4	3315 8	1 005	344 2	0 104	0 104
	Case-3	2079 2	2081 2	1 001	255 2	0 123	0 123	3299 4	3300 4	1 000	349 7	0 106	0 106
	Case-4	2079 2	2076 8	0 999	259 1	0 125	0 125	3299 4	3295 1	0 999	353 6	0 107	0 107
	Case-5	2079 2	2047 3	0 985	272 3	0 131	0 133	3299 4	3260 1	0 988	367 1	0 111	0 113

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
P-01-SC(プ)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
P-04-SC(プ)	Case-1	鋼管(引)	998	2	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	996	4	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	994	6	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	995	5	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	992	8	0	鋼管(引)	1000	0	0

表-3.3.31　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（2）

(b) 橋台・レベル 1 地震時

押込み側（$P_{N\max}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-SC(プ)	Case-1	1592 0	1591 4	1 000	80 1	0 050	0 050	2154 4	2151 9	0 999	103 8	0 048	0 048
	Case-2	1592 0	1597 2	1 003	85 5	0 054	0 054	2154 4	2157 8	1 002	108 5	0 050	0 050
	Case-3	1592 0	1604 5	1 008	90 1	0 057	0 056	2154 4	2165 1	1 005	112 2	0 052	0 052
	Case-4	1592 0	1607 5	1 010	94 2	0 059	0 059	2154 4	2168 1	1 006	115 7	0 054	0 053
	Case-5	1592 0	1623 8	1 020	106 0	0 067	0 065	2154 4	2184 5	1 014	125 9	0 058	0 058
A-04-SC(プ)	Case-1	4610 0	4564 8	0 990	291 7	0 063	0 064	6069 5	6050 5	0 997	322 4	0 053	0 053
	Case-2	4610 0	4570 2	0 991	305 7	0 066	0 067	6069 5	6061 3	0 999	329 5	0 054	0 054
	Case-3	4610 0	4578 9	0 993	316 3	0 069	0 069	6069 5	6074 8	1 001	333 0	0 055	0 055
	Case-4	4610 0	4579 0	0 993	321 2	0 070	0 070	6069 5	6079 8	1 002	337 6	0 056	0 056
	Case-5	4610 0	4589 1	0 995	342 9	0 074	0 075	6069 5	6108 2	1 006	350 8	0 058	0 057

引抜き側（$P_{N\min}$）

試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-01-SC(プ)	Case-1	804 8	804 6	1 000	80 7	0 100	0 100	1262 7	1262 1	0 999	115 3	0 091	0 091
	Case-2	804 8	797 7	0 991	84 4	0 105	0 106	1262 7	1253 8	0 993	118 7	0 094	0 095
	Case-3	804 8	788 9	0 980	91 0	0 113	0 115	1262 7	1243 5	0 985	125 4	0 099	0 101
	Case-4	804 8	785 2	0 976	95 6	0 119	0 122	1262 7	1239 1	0 981	129 9	0 103	0 105
	Case-5	804 8	764 7	0 950	113 9	0 142	0 149	1262 7	1215 6	0 963	145 5	0 115	0 120
A-04-SC(プ)	Case-1	2371 7	2384 6	1 005	283 6	0 120	0 119	3817 7	3830 3	1 003	396 0	0 104	0 103
	Case-2	2371 7	2364 0	0 997	292 4	0 123	0 124	3817 7	3805 8	0 997	404 2	0 106	0 106
	Case-3	2371 7	2339 2	0 986	306 9	0 129	0 131	3817 7	3776 2	0 989	419 7	0 110	0 111
	Case-4	2371 7	2328 8	0 982	316 8	0 134	0 136	3817 7	3763 7	0 986	429 8	0 113	0 114
	Case-5	2371 7	2268 7	0 957	376 8	0 159	0 166	3817 7	3698 1	0 969	466 8	0 122	0 126

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
A-01-SC(プ)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	999	1	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
A-04-SC(プ)	Case-1	鋼管(引)	813	187	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	774	226	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	732	268	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	719	281	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	667	333	0	鋼管(引)	1000	0	0

表-3.3.31　SC 杭の抵抗値の変化率の統計量（3）

(c) 橋台・常時

押込み側 （$P_{N\max}$）

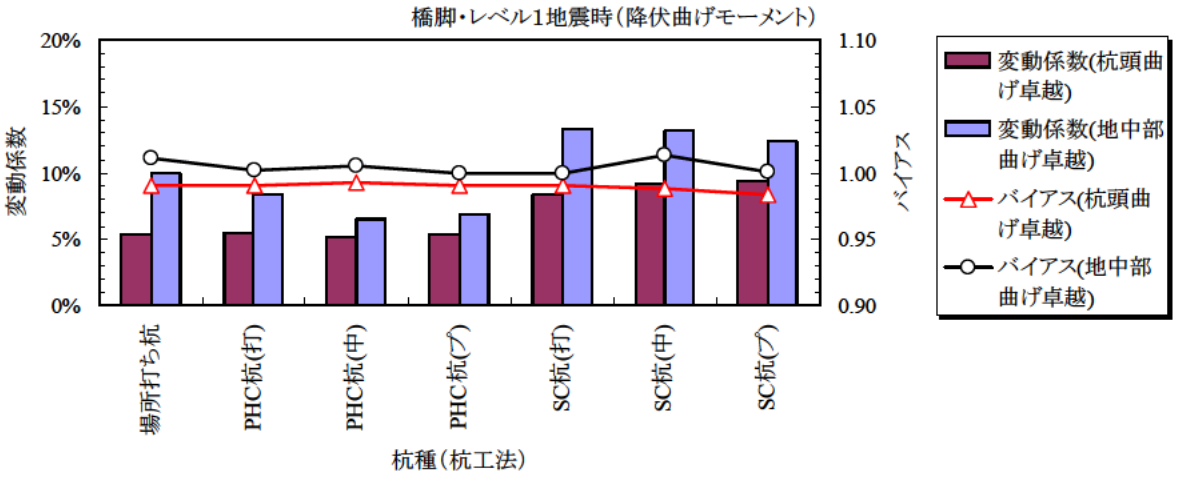
試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-SC(プ)	Case-1	585 1	585 1	1 000	31 6	0 054	0 054	809 0	808 7	1 000	42 2	0 052	0 052
	Case-2	585 1	587 0	1 003	33 1	0 057	0 056	809 0	810 7	1 002	43 7	0 054	0 054
	Case-3	585 1	589 2	1 007	34 3	0 059	0 058	809 0	813 2	1 005	44 7	0 055	0 055
	Case-4	585 1	590 2	1 009	35 4	0 061	0 060	809 0	814 2	1 006	45 8	0 057	0 056
	Case-5	585 1	595 3	1 017	38 6	0 066	0 065	809 0	819 9	1 013	48 9	0 060	0 060
A-08-SC(プ)	Case-1	2353 1	2341 2	0 995	112 9	0 048	0 048	3100 4	3085 2	0 995	138 3	0 045	0 045
	Case-2	2353 1	2349 7	0 999	121 9	0 052	0 052	3100 4	3094 6	0 998	147 5	0 048	0 048
	Case-3	2353 1	2361 5	1 004	130 3	0 055	0 055	3100 4	3107 6	1 002	156 0	0 050	0 050
	Case-4	2353 1	2366 2	1 006	137 7	0 059	0 058	3100 4	3112 8	1 004	163 6	0 053	0 053
	Case-5	2353 1	2393 6	1 017	160 6	0 068	0 067	3100 4	3142 9	1 014	187 4	0 060	0 060

引抜き側 （$P_{N\min}$）

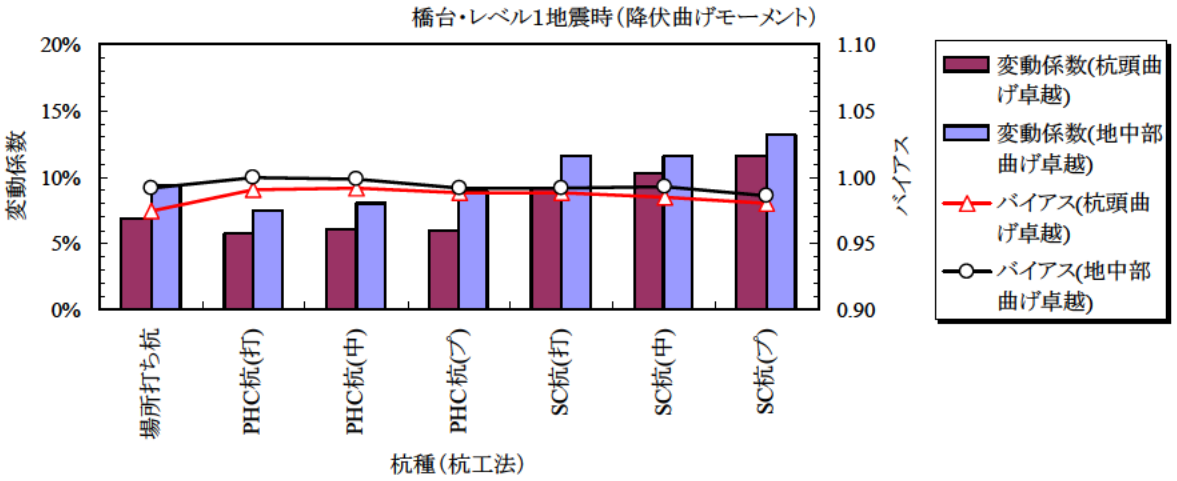
試算対象基礎	地盤のばらつき区分	降伏曲げモーメント						終局曲げモーメント					
		公称値	平均値		標準偏差		変動係数	公称値	平均値		標準偏差		変動係数
			耐力	耐力比	耐力	耐力比			耐力	耐力比	耐力	耐力比	
		M_y (kN・m)	$M_{y(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(my)}$	$M_{y(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(my)}$	COV$_{(my)}$	M_u (kN・m)	$M_{u(\mu)}$ (kN・m)	$\mu_{(mu)}$	$M_{u(\sigma)}$ (kN・m)	$\sigma_{(mu)}$	COV$_{(mu)}$
A-05-SC(プ)	Case-1	381 3	381 0	0 999	31 6	0 083	0 083	575 3	574 8	0 999	44 9	0 078	0 078
	Case-2	381 3	379 0	0 994	32 3	0 085	0 085	575 3	572 4	0 995	45 4	0 079	0 079
	Case-3	381 3	376 4	0 987	33 8	0 089	0 090	575 3	569 4	0 990	46 9	0 082	0 082
	Case-4	381 3	375 4	0 984	34 8	0 091	0 093	575 3	568 2	0 988	47 9	0 083	0 084
	Case-5	381 3	369 5	0 969	38 4	0 101	0 104	575 3	561 3	0 976	51 5	0 090	0 092
A-08-SC(プ)	Case-1	1166 5	1177 9	1 010	120 5	0 103	0 102	1727 9	1740 8	1 007	159 4	0 092	0 092
	Case-2	1166 5	1167 7	1 001	127 8	0 110	0 109	1727 9	1728 9	1 001	166 6	0 096	0 096
	Case-3	1166 5	1153 8	0 989	139 2	0 119	0 121	1727 9	1712 6	0 991	178 8	0 103	0 104
	Case-4	1166 5	1147 9	0 984	147 2	0 126	0 128	1727 9	1705 7	0 987	187 2	0 108	0 110
	Case-5	1166 5	1114 5	0 955	177 2	0 152	0 159	1727 9	1667 1	0 965	217 9	0 126	0 131

■降伏曲げモーメントの決定要因

		押込み側($N=P_{N\max}$)				引抜き側($N=P_{N\min}$)			
		公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数			公称値	ﾓﾝﾃｶﾙﾛのﾃﾞｰﾀ数		
			鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ		鋼管(引)	鋼管(圧)	ｺﾝｸﾘｰﾄ
A-05-SC(プ)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
A-08-SC(プ)	Case-1	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-2	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-3	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-4	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0
	Case-5	鋼管(引)	1000	0	0	鋼管(引)	1000	0	0

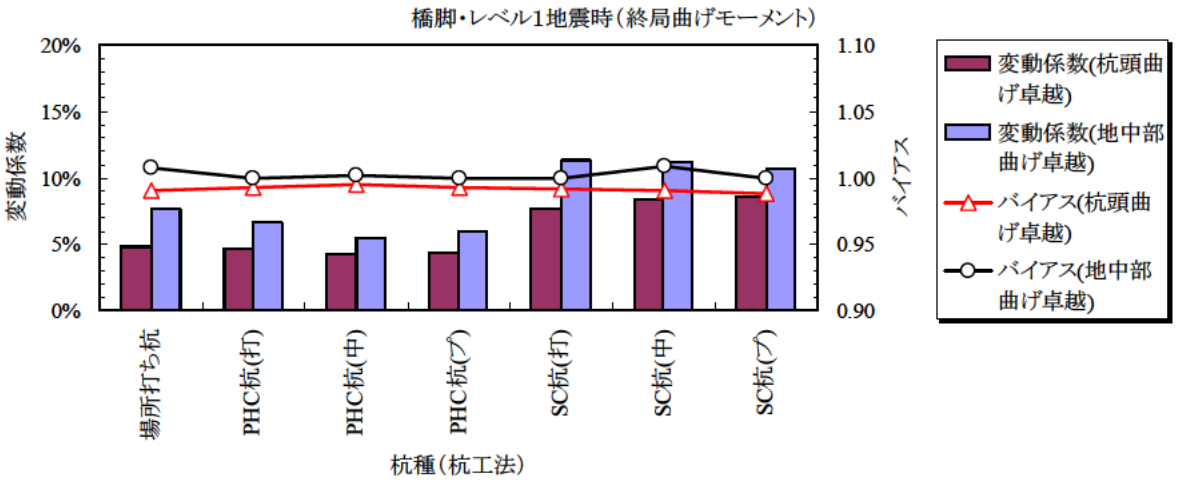


(a) 橋　脚

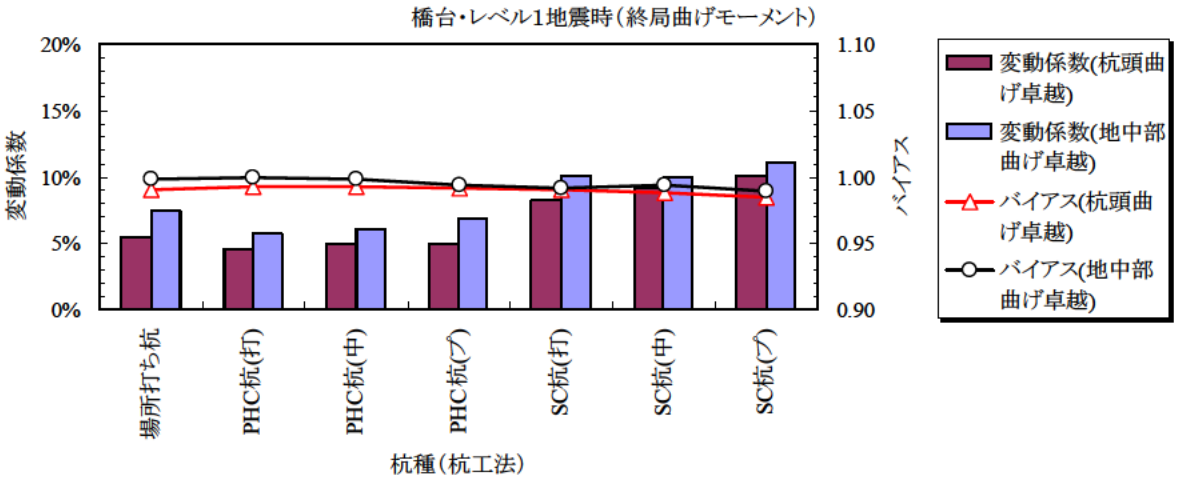


(b) 橋　台

図-3.3.36　杭体の降伏曲げモーメントの不確実性（レベル 1 地震時：Case-3 を例）



(a) 橋　脚



(b) 橋　台

図-3.3.37　杭体の終局曲げモーメントの不確実性（レベル 1 地震時：Case-3 を例）

【参考文献】

1）七澤 利明，河野 哲也，大城一徳：性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究，土木研究所資料第 4374 号，2018. 5.

2）中谷昌一，白戸真大，河野哲也，井落久貴，桐越拓也：杭の水平支持における限界状態に関する研究，土木研究所資料第 4151 号，2009. 8.

3）七澤 利明，眞弓 英大，河野 哲也，坂本 裕司，田辺 晶規，河村 淳，宮原 清，今野 貴元：橋梁基礎形式の選定手法調査，土木研究所資料第 4339 号，2016. 10.

4）中谷昌一，白戸真大，井落久貴，野村朋之：性能規定化における杭基礎の安定照査に関する研究，土木研究所資料第 4036 号，2007. 1.

5）(社) コンクリートパイル建設技術協会 : 既製コンクリート杭 －基礎構造設計マニュアル－ 土木編，2003.4.

6）中谷昌一，白戸真大，河野哲也，中村祐二，野村朋之，横幕清，井落久貴：性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究，土木研究所資料第 4136 号，2009. 3.

7) Phoon, K. K. and Kulhawy, F. H. : Characterization of geotechnical variability, Table 7, Can. Geotech. J, 36, pp. 612–624, 1999.

8）浅間達雄，塩井幸武，浅沼秀弥，神長耕二，福井次郎：杭頭回転バネおよび合理的水平変位量を考慮した杭基礎設計法，土木研究所資料第 1715 号，1981. 8.

9）(独）土木研究所，(一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会，(社）コンクリートパイル建設技術協会：杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する共同研究報告書（杭頭結合部に関する研究)，共同研究報告書，第 433 号，2012. 3.

10）中谷昌一，石田雅博，白戸真大，井落久貴：橋梁基礎形式の選定手法調査，土木研究所資料第 4037 号，2007. 2.

4. 杭基礎の安定照査における部分係数の検討

4.1 はじめに

本章では，杭基礎の安定照査のうち，2.1.2 に示した応答の可逆性を確保するための照査に関する部分係数について検討する。ここで，杭基礎の安定照査項目は，杭の軸方向押込み力に対する支持，軸方向引抜き力及び水平荷重に対する抵抗の 3 つであるため，これらの照査項目に対して検討を行う。

4.2 杭基礎の安定照査における部分係数の検討

4.2.1 軸方向押込み力に対する耐荷性能の照査

本検討における杭の軸方向押込み力に対して応答の可逆性を確保するための制限値の算出式を式(4.2.1)に示す。応答の可逆性には，杭体の降伏と地盤の降伏が影響するが，ここでは一般に設計上クリティカルとなる地盤から決まる杭の降伏支持力を対象とした。同式は H24 道示 IV の支持力算出式（H24 道示 IV 編 式 12.4.1）に準じているが，杭の極限支持力ではなく，降伏支持力の特性値を用いた式としている。ただし，文献 4)より，杭の降伏支持力の特性値は極限支持力の 0.63 倍として一定の関係にあるとみなすことができることから，ここではその関係（R_y =0.63 R_u）を用いて検討を行う。また，3.2.2 に示した支持力推定式の不確実性の統計量は支持杭に対するものであり，本節での部分係数の検討も支持杭を対象として行う。

$$R_d = \Phi (R_y - W_s) + W_s - W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.1)$$

ここに，

R_d ：杭の軸方向押込み力の制限値 (kN)

Φ ：杭基礎の抵抗に関する部分係数

R_y ：地盤から決まる杭の降伏支持力の特性値 (kN)

W_s ：杭で置換えられる部分の土の有効重量 (kN)

W ：杭及び杭内部の土の有効重量 (kN)

2.1.1 に示したように，H24 道示における支持杭の照査は，極限支持力を載荷試験から推定する場合と支持力推定式から推定する場合で安全率が異なっている。これを踏まえ，本節においても，支持力の推定方法ごとに検討する。

(1) 杭の降伏支持力の特性値を推定式から求める場合

1) 従来の基準で設計された杭の信頼性の評価

本検討では，H24 道示 IV におけるレベル 1 地震時の照査に基づき設計された杭基礎の信頼性を基本として，部分係数の検討に用いることとした。これは，別途部分係数の検討を行うレベル 2 地震時の照査により決まるケースを除けば，一般にレベル 1 地震時の照査が杭基礎の構造が定まる決定的なケースであること [1)]，このような設計法に基づき構築された杭基礎について，過去に特段の不具合が確認されていないことが理由である。

支持力の不確実性及び杭頭鉛直反力の不確実性は対数正規分布と仮定し，性能関数 G を式(4.2.2)のように定義する。

$$G = \ln(R) - \ln(P) = \ln(R / P) \quad \cdots\cdots(4.2.2)$$

ここに，

R：支持力

P：杭頭鉛直反力

支持力 R の不確実性については，3.2.2(1)に示したとおり文献 2)で得られた推定式の不確実性の統計量を用いた。図−4.2.1 に示すようにこの文献 2)による推定式は H24 道示式と比べて推定精度が向上している。押込み支持力の不確実性として 3.2.2 に示す統計量を用いることで，支持力推定式の精度が向上した影響を考慮している。

ただし，試算対象基礎が必ずしも杭軸方向押込み力に対する照査で決定される諸元ではないため，試算対象基礎の許容押込み支持力 R_a（設計値）が杭頭の最大鉛直反力 P_{max} と等しくなる値として，サンプルの地盤から決まる杭の降伏支持力の特性値 R_Y（サンプル計算値）を算出した。この際，許容押込み支持力 R_a が極限支持力に対して安全率を確保しているため，杭の降伏支持力の特性値 R_Y（サンプル計算値）を算出する際は極限支持力との相関から極限支持力の特性値 R_U に 0.63 で乗じて求める。なお，本研究では簡便のため杭の有効重量の影響は無視している。

$P_{max} = R_a = R_U / n \quad \Rightarrow \quad R_U = P_{max} \cdot n$

$R_Y = 0.63 R_U$

ここに，n：H24 道示における安全率（常時 $n=3$，レベル 1 地震時 $n=2$）

したがって，

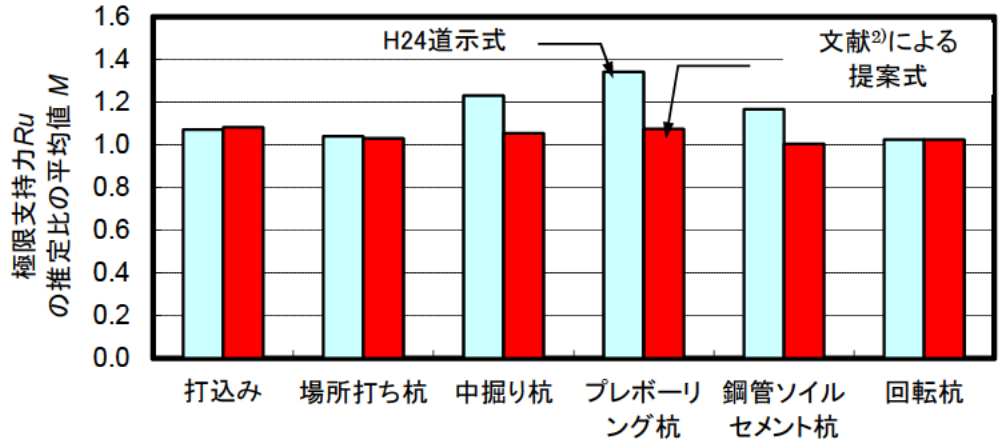
$R_Y = P_{max} \cdot n \cdot 0.63 =$ (常時) 1.89 P_{max}，(レベル 1 地震時) 1.26 P_{max}

支持力 R を対数表示した $\ln(R)$ と杭頭反力 P を対数表示した $\ln(P)$ がそれぞれ $N(\mu_{\ln(R)}, \sigma_{\ln(R)})$，$N(\mu_{\ln(P)}, \sigma_{\ln(P)})$ となる正規確率変数とすると，性能関数 G は式(4.2.3)として求められる正規確率変数となる。

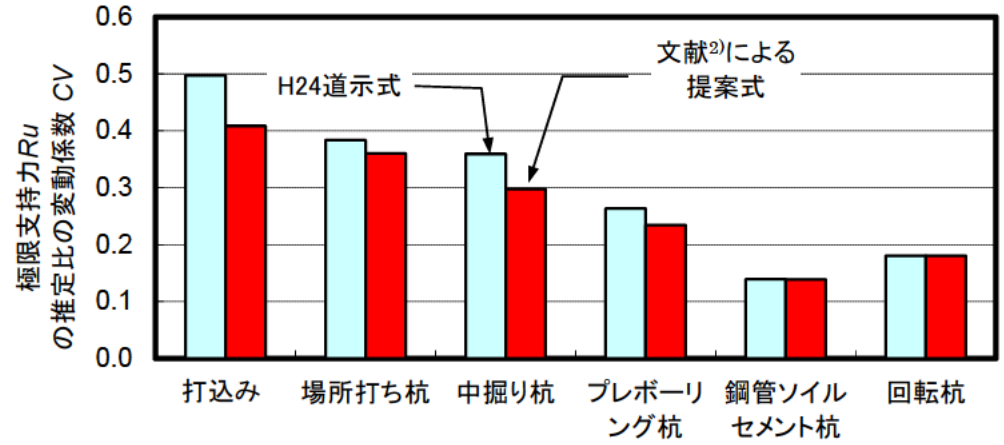
$$N(\mu_G, \sigma_G) = N\left(\mu_{\ln(R)} - \mu_{\ln(P)}, \sqrt{(\sigma_{\ln(R)}{}^2 + \sigma_{\ln(P)}{}^2)}\right) \quad \cdots\cdots(4.2.3)$$

したがって，従来の道路橋示方書により設計された杭基礎の信頼性は，対数正規分布を仮定した R と P の差（$1n(R) - 1n(P)$）の平均値（μ_G）と標準偏差（σ_G）を用いて式(4.2.4)により信頼性指標 β を計算して評価した。

$$\beta = \mu_G / \sigma_G \quad \cdots\cdots(4.2.4)$$



(a)　平均値



(b)　変動係数

図-4.2.1　H24 道示における支持力推定式と文献 2)にて提案された支持力推定式の推定比（実測値／計算値）の比較

3.3.1 に示す試算対象基礎に対する計算の結果得られた信頼性指標 β を表-4.2.1 及び図-4.2.2 に示す。この信頼性指標 β を基に目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 $\beta^R{}_T$ を設定する。信頼性指標 β は地盤調査法や地盤条件（以下，地盤調査法等），杭工法によって異なるが，道路橋の基礎に確保する安全余裕は，杭工法や地盤調査法等の違いによらず同等であることが望ましいことから，本研究における $\beta^R{}_T$ は一つの値のみを定める。以下に，算出した信頼性指標 β について考察を行い，$\beta^R{}_T$ を設定する。

地盤調査法等の違いに関しては，いずれのケースについても，杭の水平載荷試験を行う Case-1 の信頼性指標 β が最も大きく，不確実性が大きい調査法ほど，信頼性指標 β が小さくなっている。ある信頼性指標を満足するために必要な安全率は，不確実性が小さいほど小さくなるが，H24 道示においては基本的に不確実性の違いに応じて安全率が区分されていないため，信頼性指標 β に差が生じる。

地盤の変形係数の推定方法として最も一般的に行われているのは，文献 1)によると Case-2 に該当する孔内水平載荷試験又は室内試験による場合である（全体の 45%程度）。よって，本研究では Case-2 における信頼性指標 β を基本とする。

杭工法の違いに関して，Case-2 を確認すると，図−4.2.2 に示すように，大きく分けて信頼性指標 β が相対的に小さい（β＝0.3～0.5）グループ（打込み杭工法，場所打ち杭工法，中掘り杭工法）と，相対的に大きい（β＝0.7～1.4）グループ（鋼管ソイルセメント杭工法，プレボーリング杭工法，回転杭工法）に分けられる。前者に分類される 3 工法は，昭和 55 年に道路橋示方書 IV 下部構造編が初めて制定された際に示されていた工法（以下，「従来工法」と呼ぶ）である。一方，後者の 3 工法は，H14 道示又は H24 道示という近年の道示改定時新たに示された工法（以下，「新工法」と呼ぶ）である。信頼性指標 β が従来工法よりも新工法の方が大きくなった理由について，近年開発された新杭工法については，施工管理方法等が高度化され，結果として精度の高い施工が行われていることが要因として考えられる。

従来の道示における安全率は，昭和 55 年の制定時に定められたものであり，従来工法を前提としていたものと考えられる。よって，Case-2 における従来工法の β を基本値として，支持力推定式の見直しによる推定精度向上や条件の違いによるばらつきなどを考慮して，本検討条件において目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 $\beta^R{}_T$=0.50 とする。なお，3 章の冒頭でも述べたように，荷重を確定値として扱っているため，ここに示す $\beta^R{}_T$についても，性能評価全体に関するものではなく，抵抗側の不確実性のみに関係するものである。

表-4.2.1　H24 道示で設計された杭基礎の降伏支持力に関する信頼性

	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法								回転杭工法							
	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭								鋼管杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPSC	P-02-SPSC	P-03-SPSC	P-04-SPSC	A-01-SPSC	A-02-SPSC	A-03-SPSC	A-04-SPSC	P-01-SPP(回)	P-02-SPP(回)	P-03-SPP(回)	P-04-SPP(回)	A-01-SPP(回)	A-02-SPP(回)	A-03-SPP(回)	A-04-SPP(回)
杭列数	4	4	2	2	3	3	2	2	4	4	3	2	4	4	3	2
Case-1	1 47	1 47	1 47	1 46	1 45	1 44	1 45	1 43	1 07	1 08	1 08	1 05	1 07	1 06	1 03	1 03
Case-2	1 43	1 45	1 43	1 42	1 36	1 35	1 38	1 33	1 04	1 05	1 05	1 01	1 01	1 00	0 96	0 97
Case-3	1 39	1 41	1 38	1 37	1 26	1 25	1 29	1 23	1 00	1 02	1 01	0 96	0 94	0 93	0 88	0 89
Case-4	1 37	1 40	1 35	1 35	1 21	1 19	1 25	1 17	0 98	1 01	1 00	0 94	0 91	0 90	0 84	0 85
Case-5	1 28	1 33	1 25	1 24	1 01	0 99	1 08	0 98	0 90	0 93	0 92	0 83	0 78	0 75	0 68	0 69

	打込み杭工法															
	鋼管杭								SC杭				PHC杭			
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(L1地震時)		橋台(L1地震時)		橋脚(L1地震時)		橋台(L1地震時)	
	P-01-SPP(打)	P-02-SPP(打)	P-03-SPP(打)	P-04-SPP(打)	A-01-SPP(打)	A-02-SPP(打)	A-03-SPP(打)	A-04-SPP(打)	P-01-SC(打)	P-04-SC(打)	A-01-SC(打)	A-04-SC(打)	P-01-PHC(打)	P-04-PHC(打)	A-01-PHC(打)	A-04-PHC(打)
杭列数	4	4	2	2	3	4	2	2	3	3	2	2	4	3	2	2
Case-1	0 32	0 33	0 35	0 36	0 33	0 32	0 35	0 36	0 32	0 35	0 32	0 34	0 32	0 35	0 33	0 36
Case-2	0 31	0 32	0 34	0 35	0 31	0 30	0 34	0 34	0 31	0 34	0 29	0 32	0 31	0 34	0 30	0 34
Case-3	0 30	0 31	0 33	0 34	0 28	0 28	0 32	0 32	0 29	0 32	0 26	0 30	0 29	0 33	0 27	0 32
Case-4	0 29	0 30	0 33	0 33	0 27	0 27	0 31	0 31	0 28	0 32	0 25	0 30	0 28	0 33	0 26	0 32
Case-5	0 26	0 28	0 31	0 31	0 21	0 22	0 27	0 27	0 25	0 29	0 19	0 26	0 24	0 31	0 20	0 27

	中掘り杭工法																			
	鋼管杭				SC杭								PHC杭							
	橋脚(L1地震時)		橋台(L1地震時)		橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPP(中)	P-04-SPP(中)	A-01-SPP(中)	A-04-SPP(中)	P-01-SC(中)	P-02-SC(中)	P-03-SC(中)	P-04-SC(中)	A-01-SC(中)	A-02-SC(中)	A-03-SC(中)	A-04-SC(中)	P-01-PHC(中)	P-02-PHC(中)	P-03-PHC(中)	P-04-PHC(中)	A-01-PHC(中)	A-02-PHC(中)	A-03-PHC(中)	A-04-PHC(中)
杭列数	4	4	2	2	4	4	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	3	3	2	2
Case-1	0 51	0 53	0 51	0 56	0 52	0 52	0 55	0 56	0 52	0 53	0 55	0 55	0 52	0 52	0 53	0 54	0 53	0 53	0 56	0 56
Case-2	0 50	0 52	0 48	0 53	0 50	0 50	0 54	0 55	0 49	0 50	0 52	0 51	0 50	0 50	0 53	0 54	0 49	0 49	0 53	0 53
Case-3	0 48	0 51	0 45	0 49	0 48	0 49	0 53	0 53	0 45	0 46	0 48	0 47	0 48	0 49	0 52	0 53	0 45	0 46	0 49	0 50
Case-4	0 47	0 51	0 44	0 48	0 47	0 48	0 52	0 53	0 43	0 44	0 46	0 45	0 47	0 48	0 52	0 53	0 44	0 44	0 48	0 48
Case-5	0 43	0 48	0 36	0 40	0 43	0 44	0 49	0 50	0 35	0 36	0 39	0 36	0 43	0 45	0 50	0 51	0 36	0 36	0 40	0 41

	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭工法																場所打ち杭工法							
	SC杭								PHC杭								場所打ち杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SC(ﾌﾟ)	P-02-SC(ﾌﾟ)	P-03-SC(ﾌﾟ)	P-04-SC(ﾌﾟ)	A-01-SC(ﾌﾟ)	A-02-SC(ﾌﾟ)	A-03-SC(ﾌﾟ)	A-04-SC(ﾌﾟ)	P-01-PHC(ﾌﾟ)	P-02-PHC(ﾌﾟ)	P-03-PHC(ﾌﾟ)	P-04-PHC(ﾌﾟ)	A-01-PHC(ﾌﾟ)	A-02-PHC(ﾌﾟ)	A-03-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)	P-01-CCP	P-02-CCP	P-03-CCP	P-04-CCP	A-01-CCP	A-02-CCP	A-03-CCP	A-04-CCP
杭列数	4	4	2	2	3	3	3	2	4	4	3	3	3	3	2	2	4	4	2	2	3	3	2	2
Case-1	0 81	0 81	0 84	0 85	0 81	0 81	0 82	0 82	0 81	0 81	0 83	0 83	0 81	0 80	0 84	0 84	0 42	0 42	0 45	0 47	0 42	0 42	0 46	0 46
Case-2	0 78	0 79	0 82	0 83	0 76	0 76	0 76	0 77	0 78	0 79	0 82	0 83	0 77	0 75	0 80	0 80	0 40	0 41	0 44	0 46	0 39	0 39	0 43	0 44
Case-3	0 75	0 76	0 79	0 80	0 71	0 70	0 70	0 71	0 75	0 77	0 80	0 81	0 71	0 70	0 75	0 75	0 38	0 40	0 43	0 44	0 36	0 35	0 41	0 41
Case-4	0 74	0 75	0 78	0 79	0 68	0 67	0 68	0 68	0 74	0 76	0 80	0 81	0 69	0 67	0 73	0 73	0 38	0 39	0 43	0 44	0 34	0 34	0 39	0 39
Case-5	0 67	0 70	0 72	0 73	0 57	0 55	0 56	0 56	0 67	0 71	0 76	0 78	0 59	0 56	0 62	0 63	0 34	0 36	0 40	0 41	0 27	0 26	0 33	0 33

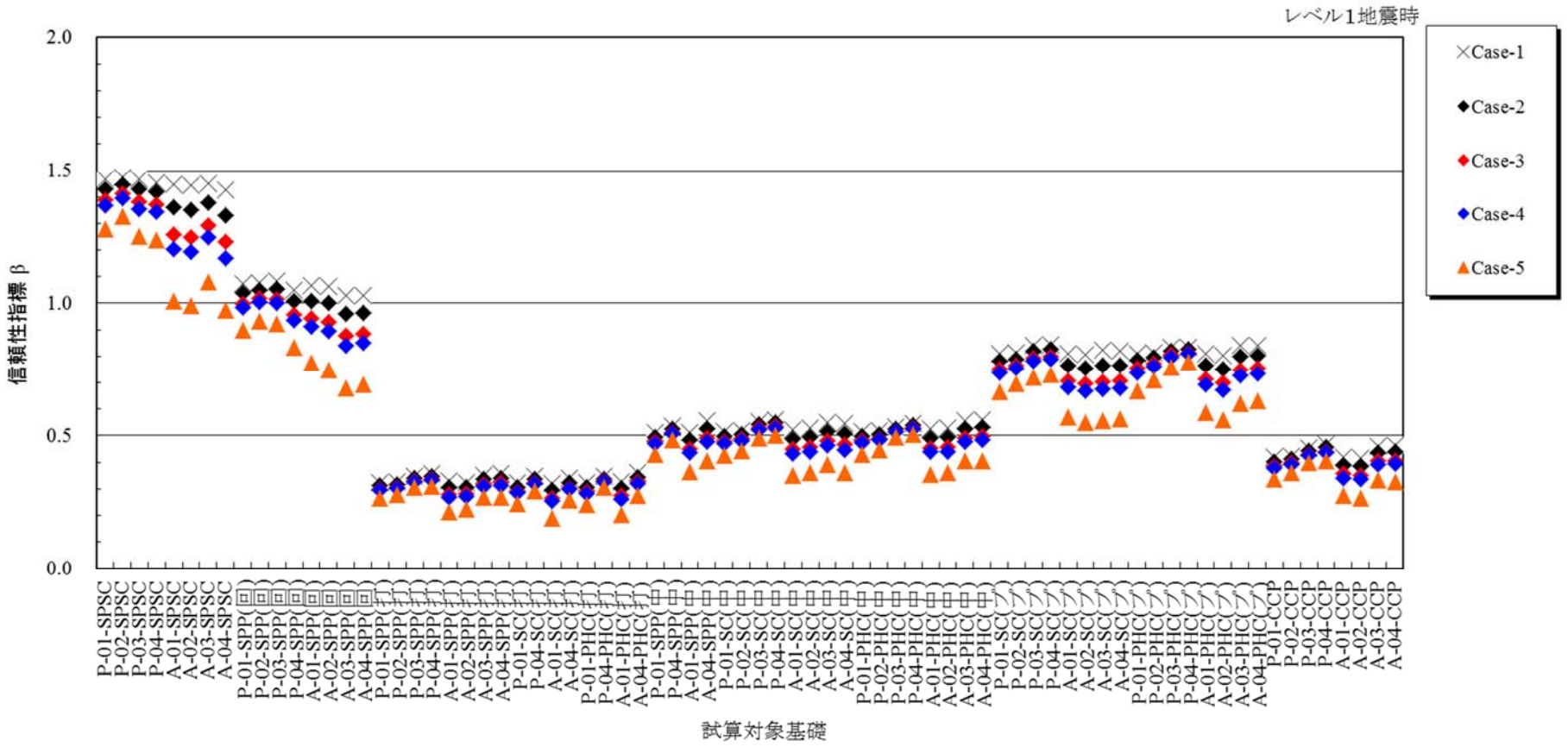


図-4.2.2　H24 道示で設計された杭基礎の降伏支持力に関する信頼性

2) 部分係数の計算

式(3.1.4)を用いて，1)で設定した目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 $\beta^R{}_T$ に対応する抵抗側の部分係数Φを計算する。表−4.2.3，図−4.2.3 に，各試算対象条件における部分係数の計算結果を示す。また，各杭工法における試算条件での部分係数計算結果の平均値を図−4.2.3 の赤線で示す。

ここでまず，地盤調査法等の違いが部分係数に与える影響について考察する。地盤反力係数の推定精度が高い地盤調査法等を用いた場合ほど部分係数は大きくなっており，抵抗側の制限値を大きく見積もれる結果となっている。ただし，Case-5 を除くとその差は最大でも 0.03 と小さい。Case-5 は，N 値 5 未満の地盤に対して N 値から変形係数を求めた場合であり，本来は各種土質試験から変形係数を求めることが基本となることから，部分係数の設定では Case-1 から Case-4 を対象に検討するのが適切と考えられる。

次に，杭工法の違いが部分係数に与える影響についてみてみると，0.88 から 0.71 の範囲でばらついており，有意な差が確認される。以上から，軸方向押込み力を受ける杭の降伏支持力に関しては，地盤反力係数の推定精度よりも杭工法の違いによる影響が支配的であることが分かる。

設計基準に用いる部分係数は，様々なキャリブレーションを行ったうえで設定されることも考えられるが，この場合には各条件での相対的な差に着目する必要がある。このため，杭工法の違いを評価する部分係数の相対的な値も併せて表−4.2.2 に示す。具体的には，従来工法の平均値を算出し（0.74），これを標準値（1.00）とした場合の比を示している。なお，3 章に示したように，応答に関する不確実性と抵抗に関する不確実性は別々に評価しているため，感度係数を用いることにより，それぞれの不確実性に対応する部分係数を計算することもできる。付属資料 3 に，応答・抵抗それぞれの影響に関する感度係数と対応する部分係数の計算結果を示す。

表−4.2.3　軸方向押込み力をうける杭の降伏支持力に関する部分係数Φと比の計算結果

杭工法		部分係数Φ		比
従来工法	打込み杭工法	0.71	0.74 （平均値）	0.96
	場所打ち杭工法	0.74		1.00
	中掘り杭工法	0.77		1.04
新工法	プレボーリング杭工法	0.82	−	1.11
	鋼管ソイルセメント杭工法	0.88		1.19
	回転杭工法	0.85		1.15

表-4.2.3 部分係数Φの計算結果

杭基礎の押込み支持力の照査に用いる部分係数【レベル１地震時】

	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法								回転杭工法							
	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭								鋼管杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPSC	P-02-SPSC	P-03-SPSC	P-04-SPSC	A-01-SPSC	A-02-SPSC	A-03-SPSC	A-04-SPSC	P-01-SPP(回)	P-02-SPP(回)	P-03-SPP(回)	P-04-SPP(回)	A-01-SPP(回)	A-02-SPP(回)	A-03-SPP(回)	A-04-SPP(回)
杭列数	4	4	2	2	3	3	2	2	4	4	3	2	4	4	3	2
Case-1	0 89	0 89	0 89	0 89	0 89	0 89	0 89	0 89	0 86	0 86	0 87	0 87	0 86	0 86	0 87	0 87
Case-2	0 89	0 89	0 89	0 89	0 88	0 88	0 88	0 88	0 86	0 86	0 86	0 86	0 85	0 85	0 85	0 86
Case-3	0 88	0 88	0 88	0 88	0 87	0 87	0 87	0 87	0 85	0 85	0 86	0 85	0 84	0 84	0 84	0 84
Case-4	0 88	0 88	0 88	0 88	0 86	0 86	0 87	0 86	0 85	0 85	0 86	0 85	0 84	0 84	0 84	0 84
Case-5	0 87	0 87	0 87	0 87	0 84	0 84	0 85	0 84	0 84	0 84	0 84	0 83	0 82	0 81	0 81	0 81

	打込み杭工法															
	鋼管杭								SC杭				PHC杭			
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(L1地震時)		橋台(L1地震時)		橋脚(L1地震時)		橋台(L1地震時)	
	P-01-SPP(打)	P-02-SPP(打)	P-03-SPP(打)	P-04-SPP(打)	A-01-SPP(打)	A-02-SPP(打)	A-03-SPP(打)	A-04-SPP(打)	P-01-SC(打)	P-04-SC(打)	A-01-SC(打)	A-04-SC(打)	P-01-PHC(打)	P-04-PHC(打)	A-01-PHC(打)	A-04-PHC(打)
杭列数	4	4	2	2	3	4	2	2	3	3	2	2	4	3	2	2
Case-1	0 71	0 71	0 72	0 72	0 71	0 71	0 72	0 72	0 71	0 72	0 71	0 72	0 71	0 72	0 71	0 72
Case-2	0 71	0 71	0 72	0 72	0 71	0 71	0 72	0 72	0 71	0 72	0 70	0 71	0 71	0 72	0 71	0 72
Case-3	0 71	0 71	0 71	0 72	0 70	0 70	0 71	0 71	0 70	0 71	0 69	0 71	0 70	0 71	0 70	0 71
Case-4	0 70	0 71	0 71	0 72	0 70	0 70	0 71	0 71	0 70	0 71	0 69	0 70	0 70	0 71	0 69	0 71
Case-5	0 69	0 70	0 71	0 71	0 68	0 68	0 69	0 69	0 69	0 70	0 67	0 69	0 69	0 71	0 67	0 70

	中掘り杭工法																			
	鋼管杭				SC杭								PHC杭							
	橋脚(L1地震時)		橋台(L1地震時)		橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPP(中)	P-04-SPP(中)	A-01-SPP(中)	A-04-SPP(中)	P-01-SC(中)	P-02-SC(中)	P-03-SC(中)	P-04-SC(中)	A-01-SC(中)	A-02-SC(中)	A-03-SC(中)	A-04-SC(中)	P-01-PHC(中)	P-02-PHC(中)	P-03-PHC(中)	P-04-PHC(中)	A-01-PHC(中)	A-02-PHC(中)	A-03-PHC(中)	A-04-PHC(中)
杭列数	4	4	2	2	4	4	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	3	3	2	2
Case-1	0 77	0 78	0 77	0 78	0 77	0 77	0 78	0 78	0 78	0 78	0 78	0 78	0 77	0 77	0 78	0 78	0 78	0 78	0 78	0 79
Case-2	0 77	0 78	0 77	0 78	0 77	0 77	0 78	0 78	0 77	0 77	0 77	0 77	0 77	0 77	0 78	0 78	0 77	0 77	0 78	0 78
Case-3	0 76	0 77	0 76	0 77	0 76	0 77	0 78	0 78	0 76	0 76	0 76	0 76	0 76	0 77	0 77	0 78	0 76	0 76	0 77	0 77
Case-4	0 76	0 77	0 75	0 76	0 76	0 76	0 78	0 78	0 75	0 75	0 76	0 75	0 76	0 76	0 77	0 78	0 75	0 75	0 76	0 76
Case-5	0 75	0 76	0 73	0 74	0 75	0 75	0 77	0 77	0 73	0 73	0 74	0 73	0 75	0 76	0 77	0 77	0 73	0 73	0 74	0 74

	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭工法																場所打ち杭工法							
	SC杭								PHC杭								場所打ち杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SC(ﾌﾟ)	P-02-SC(ﾌﾟ)	P-03-SC(ﾌﾟ)	P-04-SC(ﾌﾟ)	A-01-SC(ﾌﾟ)	A-02-SC(ﾌﾟ)	A-03-SC(ﾌﾟ)	A-04-SC(ﾌﾟ)	P-01-PHC(ﾌﾟ)	P-02-PHC(ﾌﾟ)	P-03-PHC(ﾌﾟ)	P-04-PHC(ﾌﾟ)	A-01-PHC(ﾌﾟ)	A-02-PHC(ﾌﾟ)	A-03-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)	P-01-CCP	P-02-CCP	P-03-CCP	P-04-CCP	A-01-CCP	A-02-CCP	A-03-CCP	A-04-CCP
杭列数	4	4	2	2	3	3	3	2	4	4	3	3	3	3	2	2	4	4	2	2	3	3	2	2
Case-1	0 83	0 83	0 84	0 84	0 83	0 83	0 84	0 84	0 83	0 83	0 84	0 84	0 83	0 83	0 84	0 84	0 75	0 75	0 76	0 76	0 75	0 74	0 76	0 76
Case-2	0 83	0 83	0 83	0 84	0 82	0 82	0 82	0 82	0 83	0 83	0 83	0 83	0 82	0 82	0 83	0 83	0 74	0 74	0 75	0 76	0 74	0 74	0 75	0 75
Case-3	0 82	0 82	0 83	0 83	0 81	0 81	0 81	0 81	0 82	0 82	0 83	0 83	0 81	0 81	0 82	0 82	0 74	0 74	0 75	0 75	0 73	0 73	0 74	0 74
Case-4	0 82	0 82	0 83	0 83	0 81	0 80	0 81	0 81	0 82	0 82	0 83	0 83	0 81	0 80	0 82	0 82	0 73	0 74	0 75	0 75	0 72	0 72	0 74	0 74
Case-5	0 80	0 81	0 81	0 82	0 78	0 78	0 78	0 78	0 80	0 81	0 82	0 82	0 79	0 78	0 79	0 80	0 72	0 73	0 74	0 74	0 70	0 70	0 72	0 72

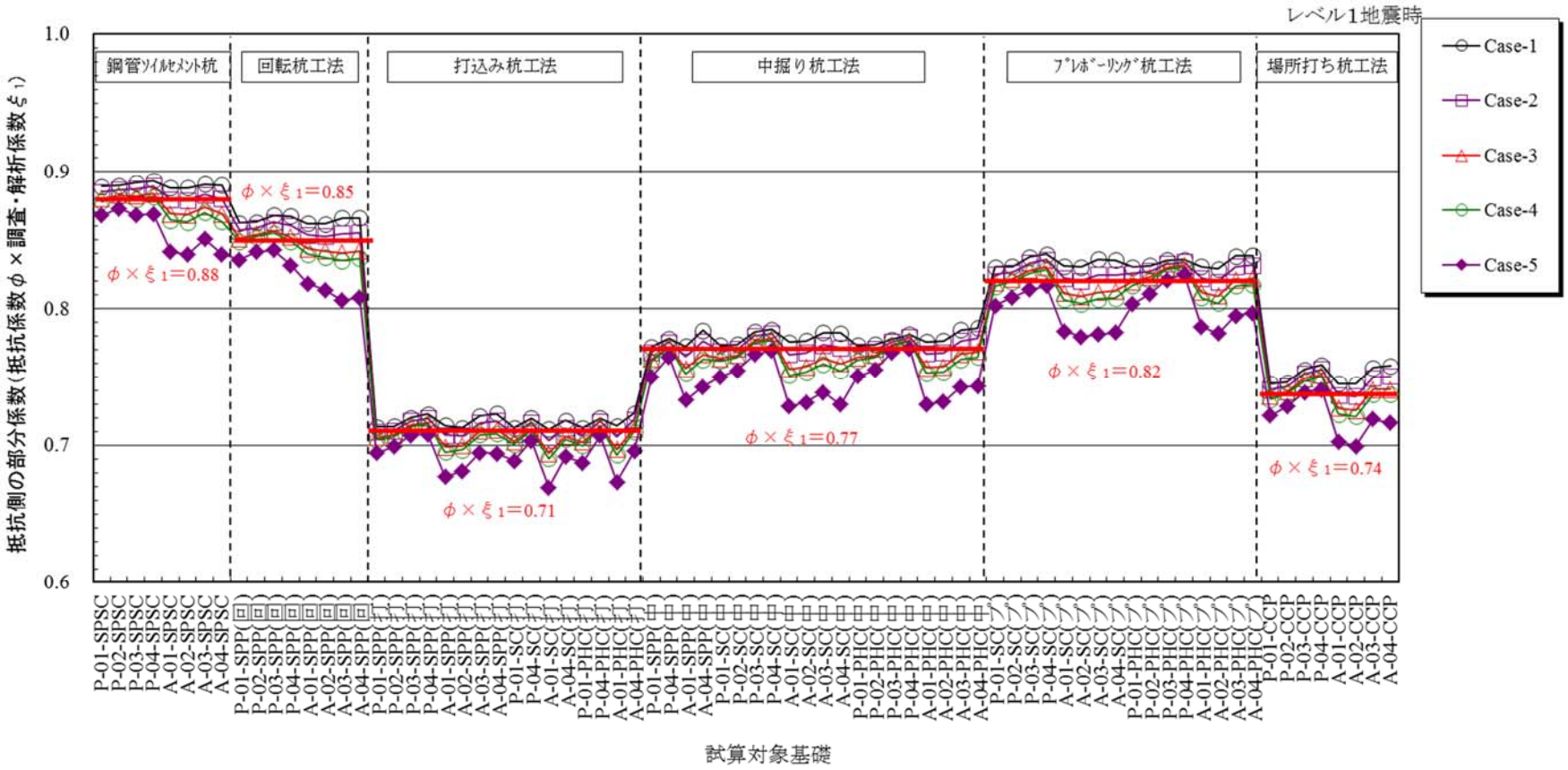


図-4.2.3　部分係数Φの計算結果

(2) 杭の降伏支持力の特性値を鉛直載荷試験から求める場合

2.1.1 に示したように，H24 道示においては，杭の極限支持力を杭の鉛直載荷試験により求める場合には，安全率を 1.2 倍してよいことが規定されている。これは，支持力推定式が全国の種々の地盤に対して平均的な値を算出するものであるのに対し，載荷試験を行えばその地点での支持力を直接知ることができ，得られた支持力の信頼性が高まると考えられるため，とされている。

そこで，杭の降伏支持力を載荷試験から求める場合，H24 道示に解説される「載荷試験結果を適用できる一般的な条件」を満足することを前提に，推定式から求める場合の部分係数に対して，例えば従来と同様に 1.2 倍程度の差を設けるなど，合理的な部分係数を設定することが望ましいと考えられる。

＜載荷試験結果を適用できる一般的な条件＞

①地盤構成がほぼ同じであること

②N 値や圧縮強度等の地盤の強度特性が類似していること

③杭長がほぼ同じであること

4.2.2　水平荷重に対する耐荷性能の照査

従来から橋脚基礎と橋台基礎の水平荷重に対する安全率は異なる。本研究においても橋脚基礎と橋台基礎を区別して検討する。

(1)　橋脚基礎

本検討における水平荷重に対して応答の可逆性を確保するための制限値の算出式を式(4.2.5)に示す。応答の可逆性には，杭体の降伏と地盤の降伏が影響するが，ここでは杭体の降伏に対して別途部材照査を行うことから地盤から決まる杭の水平変位を対象とした。

$$d_d = \Phi\ d_y \quad \cdots\cdots (4.2.5)$$

ここに，

d_d　：橋脚基礎の杭の水平変位の制限値 (mm)

Φ　：抵抗係数

d_y　：地盤から決まる杭の降伏水平変位の特性値 (mm)

本研究においては，地盤から決まる杭の降伏水平変位の特性値を文献[3]の知見から杭径（鋼管ソイルセメント杭の場合はソイルセメント柱径）の 5.5%とし，全ての杭種に適用する。H24 道示 IV において場所打ち杭は地盤の弾性限界点よりも杭体の弾性限界が先行すること，それ故場所打ち杭の水平載荷試験において地盤の弾性限界点が先行するデータが無いことから，既製杭と水平変位の制限値を区別していた。しかし，杭体の弾性限界点に対する照査を別途行うこと，既製杭の杭種により地盤の弾性限界点に有意な差が確認されなかったことから，場所打ち杭を用いた場合においても既製杭を対象に整理された地盤の弾性限界点を準用することとした。

1)　従来の基準で設計された杭の信頼性の評価

本検討では，H24 道示 IV におけるレベル 1 地震時の照査に基づき設計された杭基礎の信頼性を基本として，部分係数の検討に用いることとした。これは，別途部分係数の検討を行うレベル 2 地震時の照査により決まるケースを除けば，一般にレベル 1 地震時の照査が杭基礎の構造が定まる決定的なケースであること[1]，このような設計法に基づき構築された杭基礎について，過去に特段の不具合が確認されていないことが理由である。

降伏水平変位の不確実性及び杭頭水平変位の不確実性は対数正規分布と仮定し，性能関数 G を式(4.2.6)のように定義する。

$$G = \ln(d_L / D) - \ln(d / D) = \ln(d_L / d) \quad \cdots\cdots (4.2.6)$$

ここに，

d_L：降伏水平変位

d：応答変位

D：杭径

d_L / D の不確実性については，3.2.2(2)に示したとおり文献 3)で得られた降伏水平変位レベルの統計量を用いた。

ただし，試算対象基礎が必ずしも水平荷重に対する照査で決定される諸元ではないため，試算対象基礎の杭頭水平変位（設計値）は杭径の 3.5%と等しくなる値として，サンプルの杭頭水平変位（サンプル計算値）を算出した。

次に，降伏水平変位レベル d_L / D を対数表示した $\ln(d_L / D)$と応答変位レベル d / D を対数表示した $\ln(d / D)$がそれぞれ $N\left(\mu_{\ln(d_L/D)},\ \sigma_{\ln(d_L/D)}\right)$，$N\left(\mu_{\ln(d/D)},\ \sigma_{\ln(d/D)}\right)$となる正規確率変数とすると，性能関数 G は式 (4.2.7)として求められる正規確率変数となる。

$$N(\mu_G,\sigma_G)=N\left(\mu_{\ln(d_L/D)}-\mu_{\ln(d/D)},\sqrt{(\sigma_{\ln(d_L/D)}{}^2+\sigma_{\ln(d/D)}{}^2}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.2.7)$$

したがって，従来の道路橋示方書により設計された杭基礎の信頼性は，対数正規分布を仮定した d_L / D と d の差（$\ln(d_L / D)-\ln(d)$）の平均値（μ_G）と標準偏差（σ_G）を用いて式(4.2.8)により信頼性指標 β を計算して評価した。

$$\beta=\mu_G/\sigma_G \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.8)$$

3.3.1 に示す試算対象基礎に対する計算の結果得られた信頼性指標 β を図−4.2.4 に示す。これらの結果から分かるように，信頼性指標 β は，地盤調査法等や杭工法によって異なる。しかし，道路橋の基礎に確保する安全余裕は，杭工法や地盤調査法等の違いによらず同等であることが望ましい。そこで本研究における $\beta^R{}_T$ は一つの値のみを定める。

地盤調査法等に関しては，軸方向押込み力に対する照査と同様に，不確実性が大きい調査法ほど，信頼性指標 β が小さくなっている。ある信頼性指標を満足するために必要な安全率は，不確実性が小さいほど小さくなるが，H24 道示においては不確実性の違いに応じて安全率が区分されていないため，信頼性指標 β に差が生じる。

文献 1)によると，近年の基礎の設計において，地盤の変形係数の推定方法として最も一般的に行われているのは，Case-2 に該当する孔内水平載荷試験又は室内試験による場合である（全体の 45%程度）。よって，本研究では Case-2 における信頼性指標 β を基本として $\beta^R{}_T$ を定める。

杭工法に関しては，軸方向押込み力に対する照査とは異なり，有意な差は確認されず，Case-2 における信頼性指標 β＝0.4～0.6 程度であった。

以上より，$\beta^R{}_T$ として 0.50 という値を設定する。この値は 4.2.1 に示す軸方向押込み力に対する耐荷性能の照査での $\beta^R{}_T$ と同じ値である。

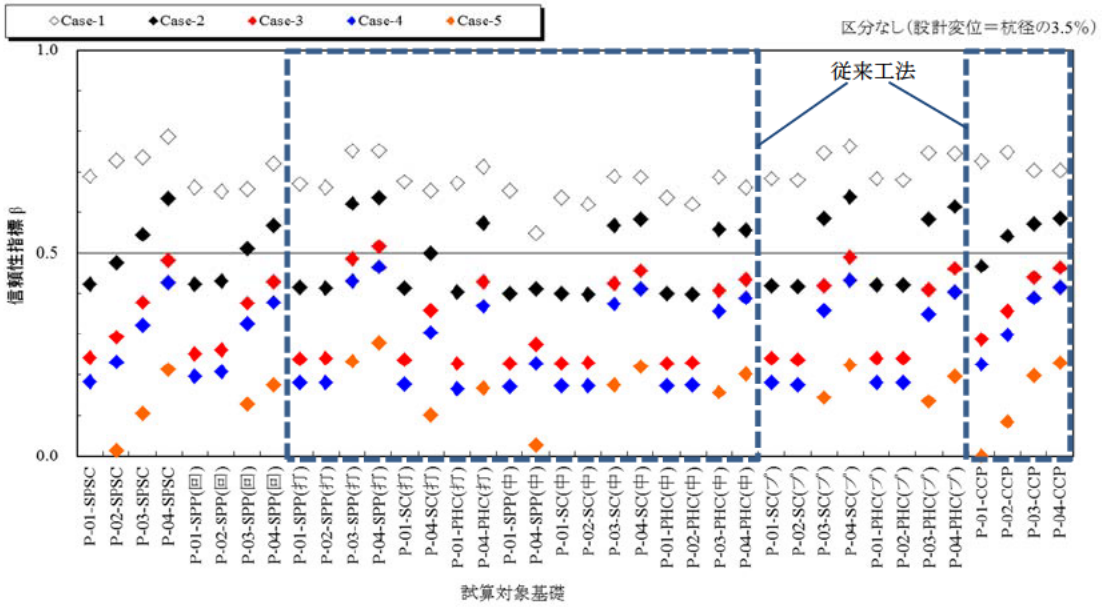


図-4.2.4　H24 道示で設計された杭基礎の降伏水平変位に関する信頼性

表-4.2.4　H24 道示で設計された杭基礎の降伏水平変位に関する信頼性

	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法								回転杭工法							
	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭								鋼管杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPSC	P-02-SPSC	P-03-SPSC	P-04-SPSC	A-01-SPSC	A-02-SPSC	A-03-SPSC	A-04-SPSC	P-01-SPP(回)	P-02-SPP(回)	P-03-SPP(回)	P-04-SPP(回)	A-01-SPP(回)	A-02-SPP(回)	A-03-SPP(回)	A-04-SPP(回)
Case-1	0 69	0 73	0 74	0 79	0 69	0 70	0 70	0 71	0 66	0 65	0 66	0 72	0 66	0 67	0 72	0 72
Case-2	0 42	0 48	0 54	0 63	0 44	0 44	0 48	0 49	0 42	0 43	0 51	0 57	0 42	0 42	0 52	0 52
Case-3	0 24	0 29	0 38	0 48	0 26	0 26	0 31	0 31	0 25	0 26	0 38	0 43	0 25	0 25	0 36	0 36
Case-4	0 18	0 23	0 32	0 43	0 20	0 20	0 26	0 26	0 20	0 21	0 33	0 38	0 19	0 19	0 30	0 31
Case-5	-0 04	0 01	0 10	0 21	-0 03	-0 03	0 03	0 04	-0 03	-0 01	0 13	0 18	-0 03	-0 04	0 09	0 09

	打込み杭工法															
	鋼管杭								SC杭				PHC杭			
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)		橋台(レベル1地震時)		橋脚(レベル1地震時)		橋台(レベル1地震時)	
	P-01-SPP(打)	P-02-SPP(打)	P-03-SPP(打)	P-04-SPP(打)	A-01-SPP(打)	A-02-SPP(打)	A-03-SPP(打)	A-04-SPP(打)	P-01-SC(打)	P-04-SC(打)	A-01-SC(打)	A-04-SC(打)	P-01-PHC(打)	P-04-PHC(打)	A-01-PHC(打)	A-04-PHC(打)
Case-1	0 67	0 66	0 75	0 75	0 67	0 67	0 76	0 77	0 68	0 65	0 68	0 66	0 67	0 71	0 67	0 79
Case-2	0 42	0 41	0 62	0 64	0 42	0 41	0 57	0 60	0 41	0 50	0 41	0 46	0 40	0 57	0 41	0 63
Case-3	0 24	0 24	0 49	0 52	0 25	0 24	0 40	0 43	0 24	0 36	0 23	0 29	0 23	0 43	0 24	0 48
Case-4	0 18	0 18	0 43	0 46	0 19	0 18	0 34	0 37	0 18	0 30	0 18	0 24	0 17	0 37	0 18	0 42
Case-5	-0 05	-0 04	0 23	0 28	-0 04	-0 05	0 12	0 16	-0 06	0 10	-0 06	0 03	-0 06	0 17	-0 05	0 21

	中掘り杭工法																			
	鋼管杭				SC杭								PHC杭							
	橋脚(レベル1地震時)		橋台(レベル1地震時)		橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPP(中)	P-04-SPP(中)	A-01-SPP(中)	A-04-SPP(中)	P-01-SC(中)	P-02-SC(中)	P-03-SC(中)	P-04-SC(中)	A-01-SC(中)	A-02-SC(中)	A-03-SC(中)	A-04-SC(中)	P-01-PHC(中)	P-02-PHC(中)	P-03-PHC(中)	P-04-PHC(中)	A-01-PHC(中)	A-02-PHC(中)	A-03-PHC(中)	A-04-PHC(中)
Case-1	0 65	0 55	0 65	0 64	0 64	0 62	0 69	0 69	0 64	0 63	0 65	0 67	0 64	0 62	0 69	0 66	0 63	0 62	0 71	0 75
Case-2	0 40	0 41	0 40	0 47	0 40	0 40	0 57	0 58	0 40	0 40	0 47	0 48	0 40	0 40	0 56	0 56	0 40	0 40	0 52	0 57
Case-3	0 23	0 27	0 23	0 31	0 23	0 23	0 43	0 46	0 23	0 23	0 31	0 31	0 23	0 23	0 41	0 44	0 23	0 22	0 35	0 40
Case-4	0 17	0 23	0 17	0 26	0 17	0 17	0 38	0 41	0 17	0 17	0 25	0 26	0 17	0 17	0 36	0 39	0 17	0 17	0 30	0 34
Case-5	-0 06	0 03	-0 06	0 05	-0 05	-0 05	0 17	0 22	-0 06	-0 05	0 04	0 04	-0 05	-0 05	0 16	0 20	-0 06	-0 05	0 08	0 12

	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭工法																場所打ち杭工法							
	SC杭								PHC杭								場所打ち杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SC(ﾌﾟ)	P-02-SC(ﾌﾟ)	P-03-SC(ﾌﾟ)	P-04-SC(ﾌﾟ)	A-01-SC(ﾌﾟ)	A-02-SC(ﾌﾟ)	A-03-SC(ﾌﾟ)	A-04-SC(ﾌﾟ)	P-01-PHC(ﾌﾟ)	P-02-PHC(ﾌﾟ)	P-03-PHC(ﾌﾟ)	P-04-PHC(ﾌﾟ)	A-01-PHC(ﾌﾟ)	A-02-PHC(ﾌﾟ)	A-03-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)	P-01-CCP	P-02-CCP	P-03-CCP	P-04-CCP	A-01-CCP	A-02-CCP	A-03-CCP	A-04-CCP
Case-1	0 68	0 68	0 75	0 76	0 68	0 67	0 68	0 68	0 68	0 68	0 75	0 75	0 67	0 65	0 77	0 78	0 73	0 75	0 70	0 70	0 60	0 60	0 64	0 68
Case-2	0 42	0 42	0 59	0 64	0 42	0 41	0 49	0 49	0 42	0 42	0 58	0 61	0 41	0 39	0 58	0 59	0 47	0 54	0 57	0 58	0 35	0 35	0 45	0 48
Case-3	0 24	0 24	0 42	0 49	0 25	0 23	0 32	0 32	0 24	0 24	0 41	0 46	0 23	0 21	0 40	0 41	0 29	0 36	0 44	0 46	0 19	0 19	0 30	0 32
Case-4	0 18	0 18	0 36	0 43	0 19	0 17	0 26	0 26	0 18	0 18	0 35	0 40	0 17	0 16	0 33	0 35	0 23	0 30	0 39	0 42	0 14	0 14	0 24	0 27
Case-5	-0 05	-0 05	0 14	0 22	-0 05	-0 06	0 04	0 04	-0 05	-0 05	0 13	0 20	-0 05	-0 06	0 11	0 13	0 00	0 08	0 20	0 23	-0 08	-0 08	0 03	0 05

※橋台の値は参考値

2)　部分係数の計算

式(3.1.4)を用いて，1)で設定した目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 β^{R}_{T} に対応する抵抗側の部分係数Φを計算する。表-4.2.6，図-4.2.5 に，各試算対象条件における部分係数の計算結果を示す。また，各杭工法における試算条件での部分係数計算結果の平均値を表-4.2.5 に示す。

Case-5 は N 値 5 未満の地盤に対して N 値から変形係数を求めた場合であり，ここでも 4.2.1 と同様に，Case-1 から Case-4 を対象に考察する。まず，地盤調査法等の違いが部分係数に与える影響について考察する。地盤反力係数の推定精度が高い条件ほど部分係数は大きくなっており，抵抗側の制限値を大きく見積もれる結果となっている。最も推定精度の高い Case-1 の場合と，最も精度の低い Case-4 の場合の部分係数の差は 0.16 であり，地盤調査法等の違いに応じた地盤反力係数の推定精度の影響が大きいことが分かる。

一方，杭工法の違いが部分係数に与える影響については，同一杭工法内で試算対象基礎による違いが確認できる。これは，杭列数などの構造条件の違いにより，試算対象基礎の荷重に抵抗する挙動（水平挙動や回転挙動）に違いが生じたことが要因として考えられる。ただし，杭基礎の構造は条件により様々であり，挙動の違いを構造条件により確定的に評価することは困難であることから，ここでは挙動の違いによる差別化は行わず，各 Case の試算結果を平均して評価している。

また，4.2.1 と同様に，地盤調査法等の違いを評価する部分係数の相対的な値も併せて表-4.2.5 に示す。具体的には，Case-2 の地盤調査法が標準的であること踏まえ，これを標準値（1.00）とした場合の比を示している。

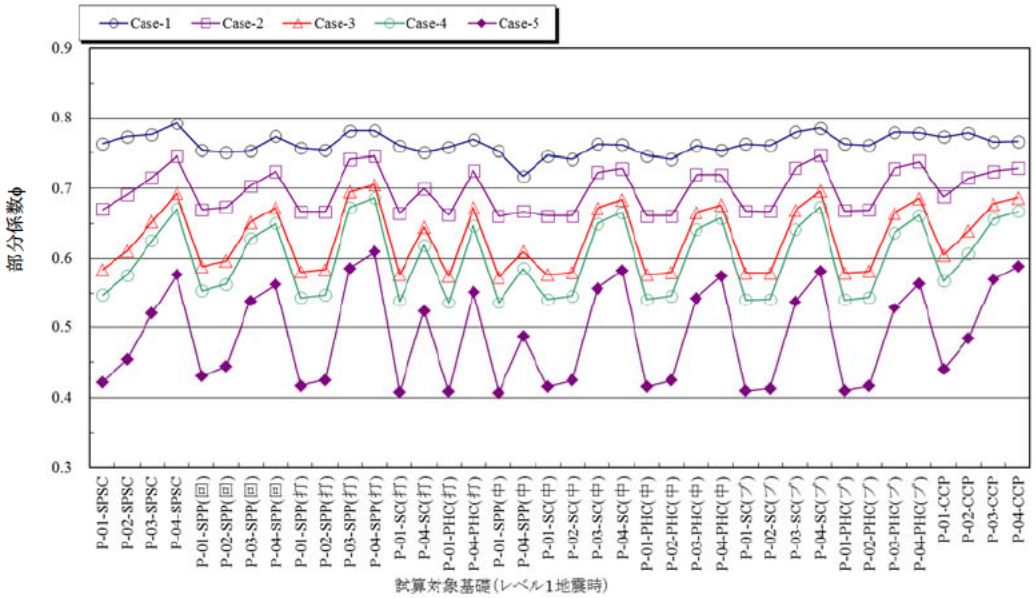


図-4.2.5　部分係数Φの計算結果

表-4.2.5　水平荷重を受ける杭の降伏水平変位に関する部分係数Φと比の計算結果

	部分係数Φ	比
Case-1	0.72~0.79　(0.76)	1.09
Case-2	0.66~0.75　(0.70)	1.00
Case-3	0.57~0.71　(0.63)	0.90
Case-4	0.54~0.69　(0.60)	0.86
Case-5	0.41~0.61　(0.49)	0.70

(　)は平均値

表-4.2.6　部分係数Φの計算結果

	鋼管ソイルセメント杭工法								回転杭工法							
	鋼管ソイルセメント杭								鋼管杭							
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPSC	P-02-SPSC	P-03-SPSC	P-04-SPSC	A-01-SPSC	A-02-SPSC	A-03-SPSC	A-04-SPSC	P-01-SPP(回)	P-02-SPP(回)	P-03-SPP(回)	P-04-SPP(回)	A-01-SPP(回)	A-02-SPP(回)	A-03-SPP(回)	A-04-SPP(回)
Case-1	0.76	0.77	0.78	0.79	0.77	0.77	0.77	0.77	0.75	0.75	0.75	0.77	0.76	0.76	0.77	0.77
Case-2	0.67	0.69	0.72	0.75	0.68	0.68	0.69	0.70	0.67	0.67	0.70	0.72	0.67	0.67	0.71	0.71
Case-3	0.58	0.61	0.65	0.69	0.59	0.59	0.62	0.62	0.59	0.60	0.65	0.67	0.59	0.58	0.64	0.64
Case-4	0.55	0.58	0.63	0.67	0.55	0.56	0.59	0.59	0.55	0.56	0.63	0.65	0.55	0.55	0.61	0.62
Case-5	0.42	0.45	0.52	0.58	0.43	0.43	0.48	0.48	0.43	0.44	0.54	0.56	0.43	0.42	0.51	0.51

	打込み杭工法															
	鋼管杭								SC杭				PHC杭			
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)		橋台(レベル1地震時)		橋脚(レベル1地震時)		橋台(レベル1地震時)	
	P-01-SPP(打)	P-02-SPP(打)	P-03-SPP(打)	P-04-SPP(打)	A-01-SPP(打)	A-02-SPP(打)	A-03-SPP(打)	A-04-SPP(打)	P-01-SC(打)	P-04-SC(打)	A-01-SC(打)	A-04-SC(打)	P-01-PHC(打)	P-04-PHC(打)	A-01-PHC(打)	A-04-PHC(打)
Case-1	0.76	0.75	0.78	0.78	0.76	0.76	0.78	0.79	0.76	0.75	0.76	0.75	0.76	0.77	0.76	0.79
Case-2	0.67	0.67	0.74	0.75	0.67	0.67	0.72	0.73	0.66	0.70	0.66	0.68	0.66	0.73	0.67	0.75
Case-3	0.58	0.58	0.70	0.71	0.58	0.58	0.66	0.67	0.58	0.65	0.57	0.62	0.57	0.67	0.58	0.69
Case-4	0.54	0.55	0.67	0.69	0.55	0.54	0.63	0.65	0.54	0.62	0.54	0.58	0.54	0.65	0.54	0.67
Case-5	0.42	0.42	0.59	0.61	0.42	0.41	0.52	0.54	0.41	0.52	0.41	0.48	0.41	0.55	0.42	0.57

	中掘り杭工法																			
	鋼管杭				SC杭								PHC杭							
	橋脚(レベル1地震時)		橋台(レベル1地震時)		橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)			
	P-01-SPP(中)	P-04-SPP(中)	A-01-SPP(中)	A-04-SPP(中)	P-01-SC(中)	P-02-SC(中)	P-03-SC(中)	P-04-SC(中)	A-01-SC(中)	A-02-SC(中)	A-03-SC(中)	A-04-SC(中)	P-01-PHC(中)	P-02-PHC(中)	P-03-PHC(中)	P-04-PHC(中)	A-01-PHC(中)	A-02-PHC(中)	A-03-PHC(中)	A-04-PHC(中)
Case-1	0.75	0.72	0.75	0.75	0.75	0.74	0.76	0.76	0.75	0.74	0.75	0.76	0.75	0.74	0.76	0.75	0.75	0.74	0.77	0.78
Case-2	0.66	0.67	0.66	0.69	0.66	0.66	0.72	0.73	0.66	0.66	0.69	0.69	0.66	0.66	0.72	0.72	0.66	0.66	0.71	0.73
Case-3	0.57	0.61	0.57	0.62	0.58	0.58	0.67	0.68	0.58	0.58	0.62	0.62	0.58	0.58	0.67	0.68	0.58	0.58	0.64	0.66
Case-4	0.54	0.59	0.54	0.60	0.54	0.55	0.65	0.67	0.54	0.54	0.59	0.60	0.54	0.55	0.64	0.66	0.54	0.54	0.61	0.63
Case-5	0.41	0.49	0.41	0.49	0.42	0.42	0.56	0.58	0.42	0.42	0.49	0.49	0.42	0.42	0.54	0.57	0.42	0.42	0.50	0.52

	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭工法																場所打ち杭工法								橋脚のみ平均値φ（レベル1地震時）
	SC杭								PHC杭								場所打ち杭								
	橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				橋脚(レベル1地震時)				橋台(レベル1地震時)				
	P-01-SC(ﾌﾟ)	P-02-SC(ﾌﾟ)	P-03-SC(ﾌﾟ)	P-04-SC(ﾌﾟ)	A-01-SC(ﾌﾟ)	A-02-SC(ﾌﾟ)	A-03-SC(ﾌﾟ)	A-04-SC(ﾌﾟ)	P-01-PHC(ﾌﾟ)	P-02-PHC(ﾌﾟ)	P-03-PHC(ﾌﾟ)	P-04-PHC(ﾌﾟ)	A-01-PHC(ﾌﾟ)	A-02-PHC(ﾌﾟ)	A-03-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)	P-01-CCP	P-02-CCP	P-03-CCP	P-04-CCP	A-01-CCP	A-02-CCP	A-03-CCP	A-04-CCP	
Case-1	0.76	0.76	0.78	0.79	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.78	0.78	0.76	0.75	0.79	0.79	0.77	0.78	0.77	0.77	0.73	0.73	0.75	0.76	0.76
Case-2	0.67	0.67	0.73	0.75	0.67	0.67	0.69	0.70	0.67	0.67	0.73	0.74	0.66	0.66	0.73	0.73	0.69	0.72	0.72	0.73	0.64	0.64	0.68	0.69	0.70
Case-3	0.58	0.58	0.67	0.70	0.58	0.58	0.62	0.63	0.58	0.58	0.66	0.69	0.58	0.57	0.66	0.66	0.61	0.64	0.68	0.69	0.56	0.56	0.62	0.63	0.63
Case-4	0.54	0.54	0.64	0.67	0.55	0.54	0.59	0.60	0.54	0.54	0.64	0.66	0.54	0.54	0.63	0.64	0.57	0.61	0.66	0.67	0.53	0.53	0.59	0.60	0.60
Case-5	0.41	0.41	0.54	0.58	0.42	0.41	0.48	0.49	0.41	0.42	0.53	0.56	0.42	0.41	0.51	0.52	0.44	0.48	0.57	0.59	0.41	0.41	0.48	0.49	0 49

※橋台の値は参考値

(2) 橋台基礎

橋台基礎については，背面土により永続的に偏土圧が載荷されている状態であり，基礎の変形が弾性範囲内にあっても変位が生じる上，近年でも施工時や供用中に軟弱地盤上の橋台に側方移動が生じる例が散見される。こうしたことから，(1) で示したような載荷試験結果や信頼性の評価に基づく部分係数をそのまま適用することは難しく，従来の基準における安全余裕を考慮して部分係数や制限値を設定することが適切と考えられる。

4.3 まとめ

本章では，杭基礎の安定照査のうち，2.1.2 に示した応答の可逆性を確保するための照査に関する部分係数について，杭の軸方向押込み力に対する支持，軸方向引抜き力及び水平荷重に対する抵抗の 3 つを対象に検討を行った。得られた主な成果と今後の課題を以下に示す。

・軸方向押込み力に対して杭の可逆性を確保するための照査に用いる部分係数について，従来の基準で設計された杭の信頼性を評価したうえで，従来の基準における安全率の経緯を考慮した上で目標とする信頼性を設定し，対応する部分係数を杭工法別に計算した。
・水平荷重に対して杭の可逆性を確保するための照査に用いる部分係数についても，軸方向押込み力と同様な方法に従って信頼性の評価および目標とする信頼性の設定を行い，対応する部分係数を地盤調査法や地盤の種類に応じて計算した。
・従来は基本的に安全率が一律となっていたことに対して，今回の方法により，杭工法や地盤調査法等に応じて異なる部分係数としたことにより，推定精度の違いによらず同等の信頼性を確保する設計が可能となる。また，精度の高い杭工法や地盤調査法を適用した場合に合理的な設計を行うことが可能となる。
・一方で，水平荷重に対する橋台基礎の照査については，載荷試験結果等に基づく部分係数の設定には課題があり，従来の基準と同等の安全余裕を確保する部分係数や制限値を定めることが適切と考えられる。
・また，応答に関する不確実性と抵抗に関する不確実性は別々に評価しているため，それぞれの不確実性に対応する部分係数を設定していくことも考えられる。

【参考文献】

1）七澤利明，眞弓英大，河野哲也，坂本裕司，田辺晶規，河村淳，宮原清，今野貴元：橋梁基礎形式の選定手法調査，土木研究所資料第 4339 号，2016.10.

2）七澤 利明，河野 哲也，大城一徳：性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究，土木研究所資料第 4374 号，2018.5.

3）中谷昌一，白戸真大，河野哲也，井落久貴，桐越拓也：杭の水平支持における限界状態に関する研究，土木研究所資料第 4151 号，2009.8.

4）宇都一馬，冬木衛，桜井学：杭の載荷試験結果の整理方法，基礎工，Vol.10，No.9，pp.21-30，1982. 9.

5. 杭体の部材照査における部分係数の検討

5.1 はじめに

本章では，杭体の部材照査における部分係数について検討する。

ここで，部材照査項目は，曲げモーメントに対する照査及びせん断力に対する照査の２つであるが，このうち，曲げモーメントに対する耐荷性能の照査について検討を行う。

部材の照査は道示II及びIIIに従い設計することが基本であるが，杭体の部材照査においては，発生曲げモーメントが地盤の影響を受けるため，道示 II 及び III とは別に部分係数を検討している。なお，せん断力に対する耐荷性能の照査については，地盤の違いによる応答値の不確実性と設計法との関係が十分に明らかとなっていないため，道示 II 及び III に従うのがよいと考えられる。

5.2 曲げモーメントに対する耐荷性能の照査

本検討における杭の曲げモーメントに対して応答の弾性限界点を超えないための制限値の算出式を式(5.2.1)及び式(5.2.2)に，部材として最大強度点を超えないための照査式を式(5.2.3)に示す。

なお，鋼管系の杭の最大強度点は，弾性限界点と定量的な関係にあることから，照査を省略することとした。

（場所打ち杭）$M_{yd} = \Phi \ M_{yc}$…… (5.2.1)

（鋼管杭・鋼管ソイルセメント杭・SC 杭(鋼管部)）$\sigma_d = \Phi \ \sigma_y$ …… (5.2.2)

ここに，

M_{yd} ：部材降伏に対する曲げモーメントの制限値 (N･mm)

σ_d ：引張応力度及び圧縮応力度の制限値(N/mm^2)

Φ ：杭体の抵抗に関する部分係数

M_{yc} ：降伏曲げモーメントの特性値 (N･mm)

σ_y ：鋼管の降伏強度の特性値(N/mm^2)

（場所打ち杭・PHC 杭）$M_{ud} = \Phi \ M_{uc}$…… (5.2.3)

ここに，

M_{ud} ：部材破壊に対する曲げモーメントの制限値 (N･mm)

Φ ：杭体の抵抗に関する部分係数

M_{uc} ：破壊抵抗曲げモーメントの特性値 (N･mm)

(1) 従来の基準で設計された杭の信頼性の評価

本検討では，H24 道示 IV におけるレベル 1 地震時の照査に基づき設計された杭基礎の信頼性を基本として，部分係数の検討に用いることとした。これは，別途部分係数の検討を行うレベル 2 地震時の照査により決まるケースを除けば，一般にレベル 1 地震時の照査が杭基礎の構造が定まる決定的なケースであること [1]，このような設計法に基づき構築された杭基礎について，過去に特段の不具合が確認されていないことが理由である。また，曲げモーメント分布の違いに着目して整理するため，3.3.1 に示す試算対象基礎のうち，正曲げが卓越して発生する

ようにパラメータを設定したモデル（P-01，A-01）及び負曲げが卓越して発生するようにパラメータを設定したモデル（P-04，A-04）を対象として検討する。

曲げ耐力の不確実性及び発生最大曲げモーメントの不確実性は対数正規分布と仮定し，性能関数 G を式(5.2.4)～(5.2.5)に示す。

弾性限界点に対する照査：$G = \ln(M_y) - \ln(M) = \ln(M_y / M)$ …… (5.2.4)

最大強度点に対する照査：$G = \ln(M_u) - \ln(M) = \ln(M_u / M)$ …… (5.2.5)

ここに，

M_y：降伏曲げモーメント，M_u：終局曲げモーメント

M ：発生最大曲げモーメント

降伏曲げモーメント M_y 及び終局曲げモーメント M_u の不確実性については，3.3.6 に示した統計量を用いた。

ただし，試算対象基礎が必ずしも曲げモーメントに対する照査で決定される諸元ではないため，試算対象基礎の発生曲げモーメント（設計値）が H24 道示の許容応力度に達するときの曲げモーメントと等しくなる値（抵抗曲げモーメント）として，サンプルの発生曲げモーメント（計算値）を算出した。抵抗曲げモーメントは，コンクリート系の杭については 3.3.5，鋼管系の杭については 3.3.3(2)に示す値である。

次に，部材耐力 M_R を対数表示した $\ln(M_R)$と，発生最大曲げモーメント M を対数表示した $\ln(M)$がそれぞれ $N\left(\mu_{\ln(M_R)},\ \sigma_{\ln(M_R)}\right)$，$N\left(\mu_{\ln(M)},\ \sigma_{\ln(M)}\right)$なる正規確率変数と仮定すると，性能関数 G は，下記のような正規確率変数となる。

$$N(\mu_G,\sigma_G)=N\left(\mu_{\ln(M_R)}-\mu_{\ln(M)},\sqrt{(\sigma_{\ln(M_R)}{}^2+\sigma_{\ln(M)}{}^2)}\right) \quad \cdots\cdots (5.2.6)$$

ここに，

$\mu_{\ln(M_R)}$：降伏曲げモーメント M_y 又は終局曲げモーメント M_u の平均値

$\sigma_{\ln(M_R)}$：降伏曲げモーメント M_y 又は終局曲げモーメント M_u の標準偏差

したがって，従来の道路橋示方書により設計された杭基礎の信頼性は，対数正規分布を仮定した M_R と M の差（$1n(M_R)-1n(M)$）の平均値（μ_G）と標準偏差（σ_G）を用いて式(5.2.7)により信頼性指標 β を計算して評価した。

$$\beta=\mu_G/\sigma_G \quad \cdots\cdots (5.2.7)$$

3.3.1 に示す試算対象基礎に対する計算の結果得られた信頼性指標 β を表-5.2.1 から表-5.2.2，及び図-5.2.1 から図-5.2.2 に示す。左側のグラフは杭種及び杭工法毎に，右側のグラフは地盤調査法等毎に信頼性指標 β を整理している。この信頼性指標 β を基に目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 $\beta^R{}_T$ を設定する。信頼性指標 β は地盤調査法や地盤条件（以下，地盤調査法等），杭工法によって異なるが，道路橋の基礎に確保する安全余裕は，杭工法や地盤調査

法の違いによらず同等であることが望ましいことから，本研究における β^R_T は一つの値のみを定める。以下に，算出した信頼性指標 β について考察を行い，β^R_T を設定する。

杭工法の違いに関しては，図-5.2.1 から図-5.2.2 の左側のグラフより，信頼性指標 β に大きな差が生じておらず，影響が小さいことが分かる。一方，杭種の違いに関しては，図-5.2.1 から図-5.2.2 の左側のグラフより，PHC 杭の信頼性指標 β が大きく，特にレベル 1 地震時の弾性限界点に対する照査でこの傾向が顕著に見られる。これは，PHC 杭が弾性限界点とは異なり，全断面が有効として抵抗する限界点に対する設計により諸元が決定されていることによると考えられる。なお，PHC 杭の抵抗値の算出で考慮した不確実性は他の杭種と大きな差異はないことから，杭種自体の違いによる差ではないと考えられる。したがって，従来の基準で設計された杭の信頼性を評価する点においては，PHC 杭のデータを除くこととする。また，SC 杭については，3.2.1 に示したように最大強度点に対する照査を行わないことから，最大強度点に対する目標信頼性指標 β^R_T の算出において集計の対象外とする。

地盤調査法等の違いに関しては，図-5.2.1 から図-5.2.2 の右側のグラフより，杭頭（正曲げ）の照査については，精度の良い地盤調査法を用いる場合に信頼性指標 β が大きい。これより，H24 道示における安全率は地盤調査法等によって一定であるが，実際は一般に正曲げが卓越する杭頭部の曲げモーメントに対する照査における信頼性は地盤調査法等によって異なることが分かる。一方，地中部（負曲げ）の照査については，地盤調査法等の違いによる信頼性指標 β の差は小さい。負曲げが支配的となるのは，基礎の挙動として回転挙動が卓越する条件の場合であるため，水平方向地盤反力係数 k_H の影響を受けにくく，地盤調査法等の違いよる差が小さかったものと考えられる。

地盤の変形係数の推定方法として最も一般的に行われているのは，文献 1)によると Case-2 に該当する孔内水平載荷試験又は室内試験による場合である（全体の 45%程度）。よって，本研究では Case-2 における信頼性指標 β を基本とする。Case-2 において，曲げモーメント分布毎に平均 β を算出したところ，正曲げで 0.58 と負曲げで 0.55 と大きな差異が見られなかった。また，曲げモーメント分布の違いにより確保する安全余裕を同等とする観点から，平均 β は正曲げと負曲げの信頼性指標 β の平均値とする。

以上より，H24 道示で設計された試算モデルに対して算出した信頼性指標 β を踏まえて目標信頼性指標 β^R_T を表-5.2.3 のように設定した。

表-5.2.3　目標信頼指標 β^R_T

限界点	β の範囲	平均 β	目標信頼指標 β^R_T
弾性限界点	0.34～0.94	0.56	0.5
最大強度点	1.41～2.40	1.94	2.0

表-5.2.1　レベル 1 地震時における弾性限界点(M_y 又は σ_y)に対する信頼性指標 β

レベル 1 地震時における杭体の弾性限界点に対する信頼性指標 β 【杭頭曲げが卓越する場合の杭頭曲げモーメント】

	場所打ち杭		鋼管杭(応力度照査)						PHC杭						SC杭						鋼管ソイルセメント杭(応力度照査)	
			打込み杭工法		中掘り杭工法		回転杭工法		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ			
	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台
	P-01-CCP	A-01-CCP	P-01-SPP(打)	A-01-SPP(打)	P-01-SPP(中)	A-01-SPP(中)	P-01-SPP(回)	A-01-SPP(回)	P-01-PHC(打)	A-01-PHC(打)	P-01-PHC(中)	A-01-PHC(中)	P-01-PHC(ﾌﾟ)	A-01-PHC(ﾌﾟ)	P-01-SC(打)	A-01-SC(打)	P-01-SC(中)	A-01-SC(中)	P-01-SC(ﾌﾟ)	A-01-SC(ﾌﾟ)	P-01-SPSC	A-01-SPSC
Case-1	1 24	1 31	0 97	0 82	0 95	0 88	0 89	0 79	4 13	3 76	3 95	3 12	5 02	4 03	1 04	1 02	0 98	0 93	1 05	1 00	0 94	0 80
Case-2	0 73	0 85	0 62	0 50	0 57	0 50	0 58	0 49	2 66	2 58	2 60	2 20	3 01	2 55	0 58	0 56	0 58	0 56	0 56	0 55	0 57	0 46
Case-3	0 42	0 54	0 38	0 29	0 34	0 28	0 36	0 29	1 94	1 94	2 01	1 74	2 23	1 91	0 32	0 31	0 34	0 32	0 30	0 29	0 33	0 25
Case-4	0 32	0 44	0 31	0 23	0 27	0 23	0 29	0 23	1 67	1 70	1 75	1 52	1 92	1 65	0 25	0 24	0 28	0 25	0 22	0 22	0 26	0 20
Case-5	0 02	0 12	0 06	0 01	0 03	0 00	0 06	0 01	1 13	1 18	1 26	1 08	1 34	1 12	-0 01	-0 03	0 00	-0 04	-0 06	-0 07	0 01	-0 02

レベル 1 地震時における杭体の弾性限界点に対する信頼性指標 β 【地中部曲げが卓越する場合の地中部曲げモーメント】

	場所打ち杭		鋼管杭(応力度照査)						PHC杭						SC杭						鋼管ソイルセメント杭(応力度照査)	
			打込み杭工法		中掘り杭工法		回転杭工法		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ			
	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台
	P-04-CCP	A-04-CCP	P-04-SPP(打)	A-04-SPP(打)	P-04-SPP(中)	A-04-SPP(中)	P-04-SPP(回)	A-04-SPP(回)	P-04-PHC(打)	A-04-PHC(打)	P-04-PHC(打)	A-04-PHC(中)	P-04-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)	P-04-SC(打)	A-04-SC(打)	P-04-SC(中)	A-04-SC(中)	P-04-SC(ﾌﾟ)	A-04-SC(ﾌﾟ)	P-04-SPSC	A-04-SPSC
Case-1	0 33	0 38	0 59	0 63	0 40	0 47	0 77	0 75	1 82	2 37	1 30	2 30	1 78	2 56	0 40	0 41	0 33	0 52	0 51	0 57	0 72	0 97
Case-2	0 34	0 36	0 61	0 64	0 40	0 47	0 80	0 76	1 82	2 38	1 28	2 27	1 74	2 51	0 42	0 40	0 35	0 51	0 52	0 54	0 75	0 94
Case-3	0 35	0 34	0 63	0 63	0 42	0 49	0 83	0 76	1 78	2 34	1 32	2 26	1 75	2 46	0 44	0 36	0 36	0 50	0 53	0 51	0 79	0 89
Case-4	0 34	0 31	0 63	0 62	0 40	0 47	0 82	0 76	1 78	2 34	1 29	2 22	1 71	2 42	0 43	0 33	0 36	0 48	0 53	0 48	0 76	0 84
Case-5	0 35	0 23	0 66	0 57	0 41	0 47	0 87	0 75	1 70	2 24	1 32	2 18	1 66	2 25	0 43	0 22	0 38	0 43	0 55	0 36	0 80	0 69

※緑色のハッチングを対象に平均 β を算出する

表-5.2.2　レベル 1 地震時における最大強度点(M_u)に対する信頼性指標 β

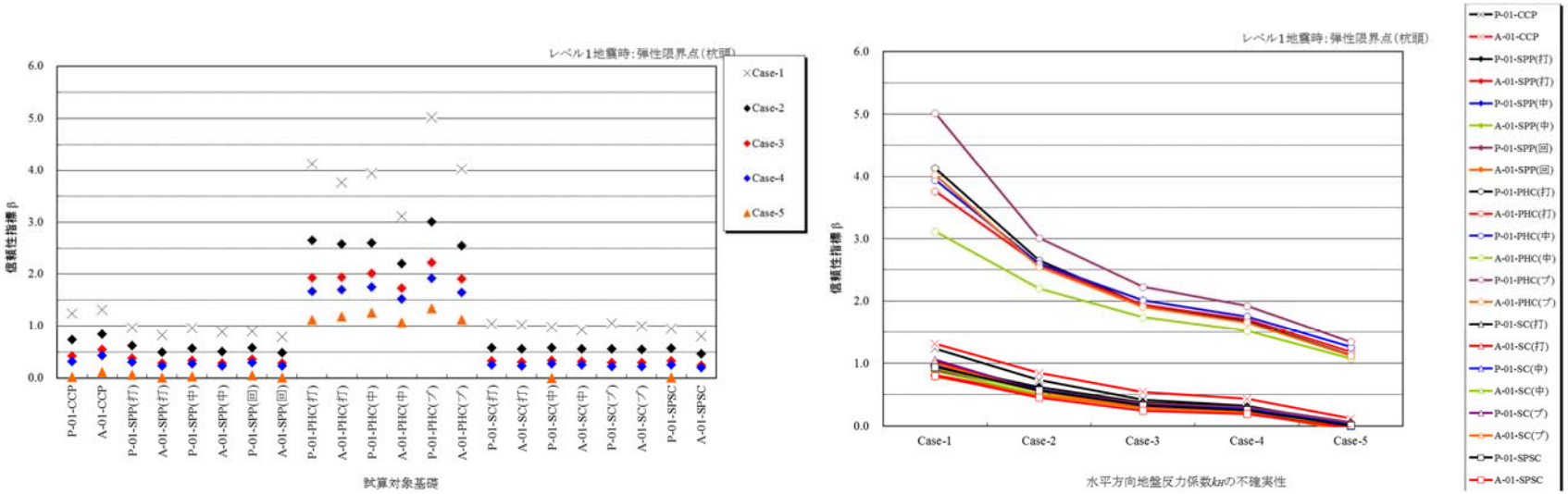
レベル 1 地震時における杭体の最大強度点に対する信頼性指標 β 【杭頭曲げが卓越する場合の杭頭曲げモーメント】

	場所打ち杭		鋼管杭						PHC杭						SC杭						鋼管ソイルセメント杭	
			打込み杭工法		中掘り杭工法		回転杭工法		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ			
	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台
	P-01-CCP	A-01-CCP	P-01-SPP(打)	A-01-SPP(打)	P-01-SPP(中)	A-01-SPP(中)	P-01-SPP(回)	A-01-SPP(回)	P-01-PHC(打)	A-01-PHC(打)	P-01-PHC(中)	A-01-PHC(中)	P-01-PHC(ﾌﾟ)	A-01-PHC(ﾌﾟ)	P-01-SC(打)	A-01-SC(打)	P-01-SC(中)	A-01-SC(中)	P-01-SC(ﾌﾟ)	A-01-SC(ﾌﾟ)	P-01-SPSC	A-01-SPSC
Case-1	3 50	3 20	—	—	—	—	—	—	5 70	4 81	4 96	3 98	6 50	5 37	3 72	3 86	3 06	2 81	3 80	3 57	—	—
Case-2	2 40	2 30	—	—	—	—	—	—	3 71	3 33	3 28	2 85	3 91	3 44	2 42	2 52	2 04	1 96	2 40	2 32	—	—
Case-3	1 73	1 74	—	—	—	—	—	—	2 76	2 55	2 57	2 29	2 93	2 62	1 78	1 84	1 56	1 50	1 76	1 74	—	—
Case-4	1 48	1 52	—	—	—	—	—	—	2 40	2 24	2 24	2 01	2 54	2 29	1 53	1 59	1 35	1 31	1 52	1 51	—	—
Case-5	0 95	1 03	—	—	—	—	—	—	1 72	1 64	1 68	1 51	1 85	1 66	1 04	1 07	0 92	0 87	1 01	1 02	—	—

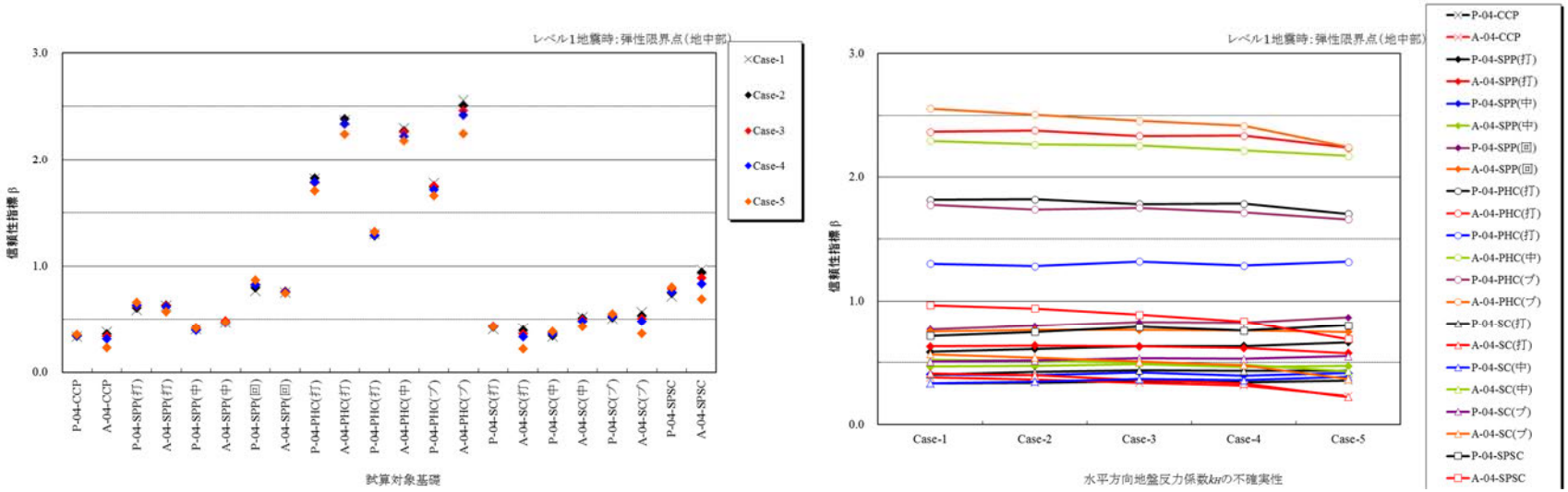
レベル 1 地震時における杭体の最大強度点に対する信頼性指標 β 【地中部曲げが卓越する場合の地中部曲げモーメント】

	場所打ち杭		鋼管杭						PHC杭						SC杭						鋼管ソイルセメント杭	
			打込み杭工法		中掘り杭工法		回転杭工法		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ		打込み杭工法		中掘り杭		ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ			
	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台	橋脚	橋台
	P-04-CCP	A-04-CCP	P-04-SPP(打)	A-04-SPP(打)	P-04-SPP(中)	A-04-SPP(中)	P-04-SPP(回)	A-04-SPP(回)	P-04-PHC(打)	A-04-PHC(打)	P-04-PHC(打)	A-04-PHC(中)	P-04-PHC(ﾌﾟ)	A-04-PHC(ﾌﾟ)	P-04-SC(打)	A-04-SC(打)	P-04-SC(中)	A-04-SC(中)	P-04-SC(ﾌﾟ)	A-04-SC(ﾌﾟ)	P-04-SPSC	A-04-SPSC
Case-1	1 42	1 68	—	—	—	—	—	—	2 66	3 24	1 94	3 19	2 71	3 72	1 81	2 01	1 53	2 23	2 09	2 50	—	—
Case-2	1 41	1 67	—	—	—	—	—	—	2 66	3 26	1 90	3 16	2 65	3 69	1 81	2 01	1 51	2 21	2 05	2 45	—	—
Case-3	1 42	1 65	—	—	—	—	—	—	2 59	3 21	1 94	3 16	2 67	3 67	1 77	1 95	1 52	2 19	2 03	2 42	—	—
Case-4	1 41	1 64	—	—	—	—	—	—	2 60	3 22	1 90	3 12	2 62	3 64	1 76	1 95	1 49	2 16	2 00	2 38	—	—
Case-5	1 40	1 57	—	—	—	—	—	—	2 49	3 12	1 93	3 10	2 54	3 52	1 69	1 82	1 51	2 10	1 95	2 27	—	—

※緑色のハッチングを対象に平均 β を算出する

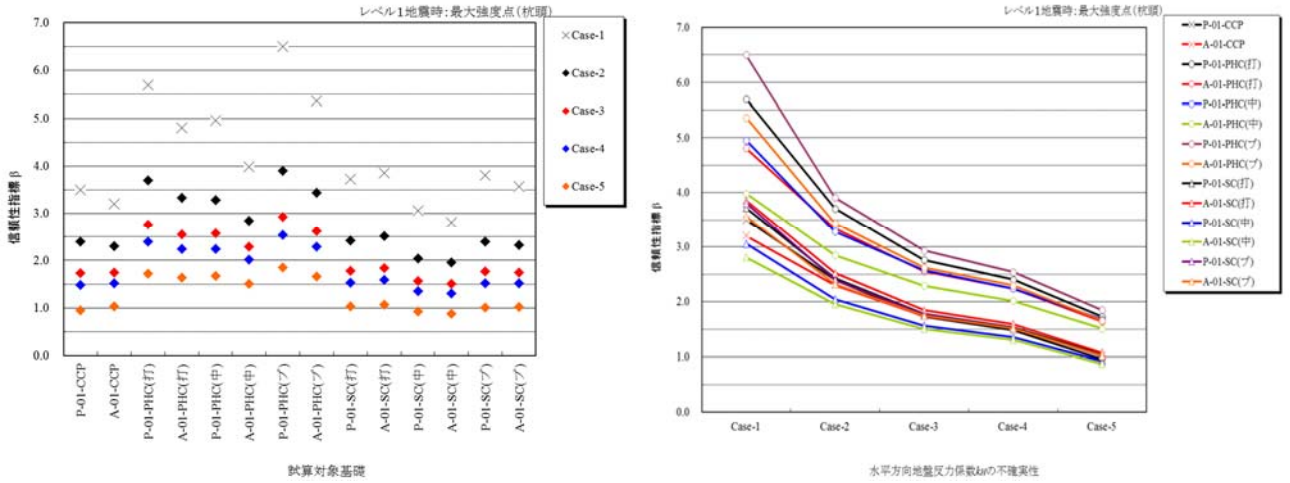


(a) 杭頭曲げモーメント又は杭頭応力度（正曲げ）

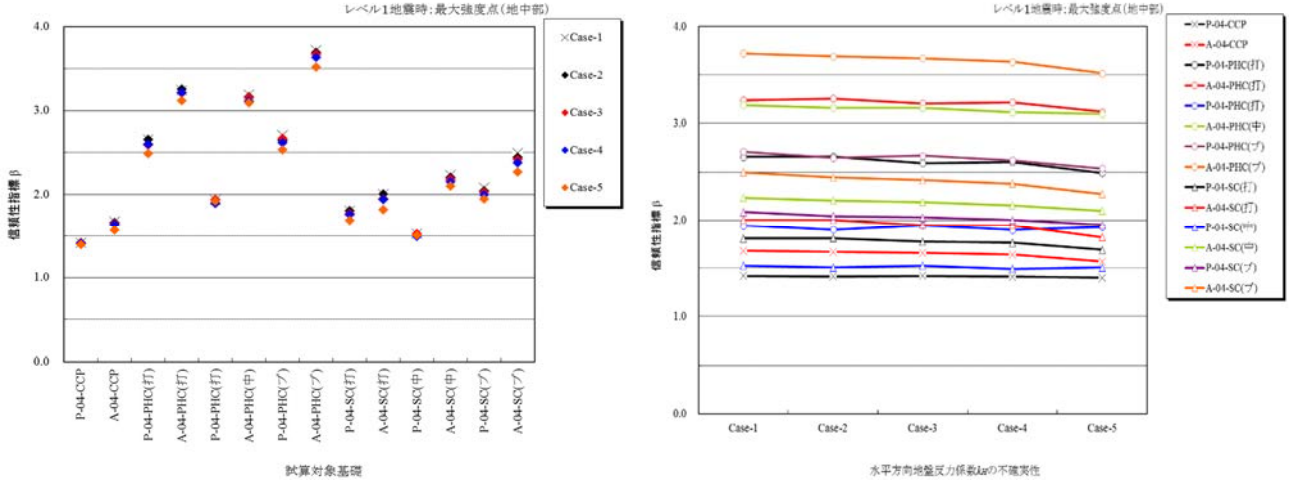


(b) 地中部曲げモーメント又は地中部応力度（負曲げ）

図-5.2.1　レベル 1 地震時における弾性限界点(M_y 又は σ_y)に対する信頼性指標



(a) 杭頭曲げモーメント（正曲げ）



(b) 地中部曲げモーメント（負曲げ）

図−5.2.2　レベル 1 地震時における最大強度点(M_u)に対する信頼性指標

(2) 部分係数の計算

式(3.1.4)を用いて，(1) で設定した目標とする杭基礎の抵抗に関する信頼性指標 β^{R}_{T} に対応する抵抗側の部分係数Φを計算する。表−5.2.4 及び図−5.2.3 に，各試算対象条件における部分係数の計算結果を示す。なお，ここでは 5.2.1 に示す部分係数を用いた照査を行う杭種と限界状態の組合せを対象に部分係数を算出した。例えば，PHC 杭は，限界状態 1（弾性限界点）の照査は対象外として，限界状態 3（最大強度点）の照査を対象に部分係数の積を算出している。

ここでまず，地盤調査法の違いが部分係数に与える影響について考察する。地盤反力係数の推定精度が高い地盤調査法を用いた場合ほど部分係数は大きくなっており，抵抗側の制限値を大きく見積もれる結果となっている。その差は，正曲げで最大 0.37 と大きく，負曲げで最大 0.02 と小さい。正曲げの部分係数は地盤調査法等の違いによる影響が大きく，負曲げの部分係数は地盤調査法等の影響が小さいことが分かる。したがって，正曲げの部分係数については，地盤調査法等の違いによる差別化を行うこととする。

次に，杭種の違いが部分係数に与える影響についてみてみると，図−5.2.3 より，弾性限界点の照査における部分係数は，コンクリート系の杭種は鋼管系の杭種よりも小さい。3.3.4 よりコンクリート系の杭種は鋼管系の杭種に比べて，応答値の不確実性が大きいことが分かる。応答値の算出において考慮した不確実性は水平方向地盤反力係数 k_H 及び杭の軸方向ばね定数 K_V の不確実性であるため，試算モデルの差異を除けば，本来は杭種による違いが生じないところである。しかし，コンクリート系の杭種は引抜き側で弾性限界点（降伏曲げモーメント）が決まるのに対して，鋼管系の杭種は押込み側で弾性限界点（降伏応力度）が決まるため，確定値である死荷重による鉛直荷重の影響が逆となり，これが係数値の差として現れた要因として考えられる。一方で，この影響は杭列数など構造条件により変わること，それぞれの杭種が有する不確実性の差に起因するものではないことなどから，杭種による差別化は行わず，全杭種の平均で評価することとする。

また，設計基準に用いる部分係数は，様々なキャリブレーションを行ったうえで設定されることも考えられるが，この場合には各条件での相対的な差に着目する必要がある。このため，杭工法の違いを評価する部分係数の相対的な値も併せて表−5.2.6 及び表−5.2.7 に示す。具体的には，標準的な地盤調査法である Case-2 において各杭種の平均値を算出し，これを標準値（1.00）とした場合の比を示している。なお，3 章に示したように，応答に関する不確実性と抵抗に関する不確実性は別々に評価しているため，感度係数を用いることにより，それぞれの不確実性に対応する部分係数を計算することもできる。付属資料 6 に，応答・抵抗それぞれの影響に関する感度係数と対応する部分係数の計算結果を示す。

表-5.2.4　曲げモーメントに対する耐荷性能の照査における部分係数

レベル1地震時【正曲げ：弾性限界点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)
Case-1	0 94	0 94	0 94	0 94	－	0 93	0 94	－	0 94	－	0 92
Case-2	0 88	0 89	0 90	0 90	－	0 87	0 90	－	0 87	－	0 86
Case-3	0 82	0 85	0 86	0 86	－	0 81	0 86	－	0 80	－	0 79
Case-4	0 79	0 84	0 84	0 84	－	0 79	0 84	－	0 78	－	0 77
Case-5	0 69	0 77	0 77	0 77	－	0 70	0 77	－	0 67	－	0 67

レベル1地震時【負曲げ：弾性限界点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)
Case-1	0 80	0 92	0 91	0 91	－	0 80	0 88	－	0 82	－	0 84
Case-2	0 80	0 92	0 92	0 91	－	0 81	0 88	－	0 82	－	0 84
Case-3	0 80	0 92	0 92	0 91	－	0 80	0 89	－	0 82	－	0 84
Case-4	0 79	0 92	0 92	0 91	－	0 80	0 88	－	0 81	－	0 84
Case-5	0 78	0 92	0 92	0 91	－	0 78	0 89	－	0 81	－	0 83

レベル1地震時【正曲げ：最大強度点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)
Case-1	0 73	－	－	－	0 73	－	－	0 69	－	0 75	－
Case-2	0 63	－	－	－	0 61	－	－	0 57	－	0 61	－
Case-3	0 54	－	－	－	0 52	－	－	0 49	－	0 52	－
Case-4	0 50	－	－	－	0 47	－	－	0 44	－	0 48	－
Case-5	0 39	－	－	－	0 37	－	－	0 35	－	0 38	－

レベル1地震時【負曲げ：最大強度点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)
Case-1	0 50	－	－	－	0 51	－	－	0 49	－	0 56	－
Case-2	0 49	－	－	－	0 51	－	－	0 49	－	0 55	－
Case-3	0 49	－	－	－	0 51	－	－	0 49	－	0 55	－
Case-4	0 49	－	－	－	0 51	－	－	0 48	－	0 55	－
Case-5	0 48	－	－	－	0 50	－	－	0 49	－	0 54	－

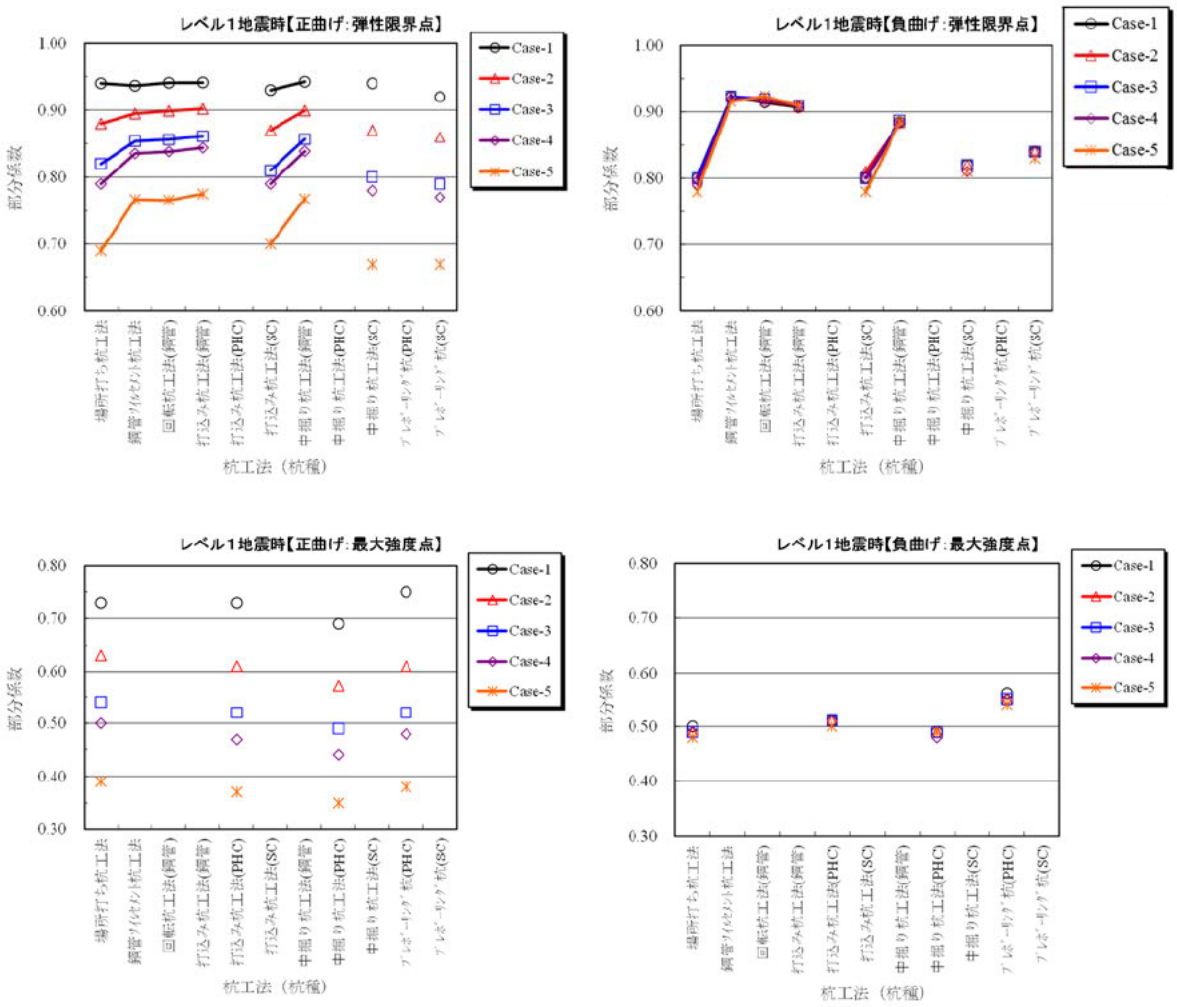


図-5.2.3　曲げモーメントに対する耐荷性能の照査における部分係数

表-5.2.5　Case-2 を基準とした部分係数の比

レベル1地震時【正曲げ:弾性限界点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)	平均	Case-2を0.9とした場合
Case-1	1.07	1.05	1.05	1.04	－	1.07	1.05	－	1.08	－	1.07	1.06	0.95
Case-2	1.00	1.00	1.00	1.00	－	1.00	1.00	－	1.00	－	1.00	1.00	0.90
Case-3	0.93	0.95	0.95	0.95	－	0.93	0.95	－	0.92	－	0.92	0.94	0.85
Case-4	0.90	0.93	0.93	0.94	－	0.91	0.93	－	0.90	－	0.90	0.92	0.82
Case-5	0.78	0.86	0.85	0.86	－	0.80	0.85	－	0.77	－	0.78	0.82	0.74

レベル1地震時【負曲げ:弾性限界点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)	平均	Case-2を0.9とした場合
Case-1	1.00	1.00	1.00	1.00	－	0.99	1.00	－	1.00	－	1.00	1.00	0.90
Case-2	1.00	1.00	1.00	1.00	－	1.00	1.00	－	1.00	－	1.00	1.00	0.90
Case-3	1.00	1.00	1.00	1.00	－	0.99	1.00	－	1.00	－	1.00	1.00	0.90
Case-4	0.99	1.00	1.00	1.00	－	0.99	1.00	－	0.99	－	1.00	1.00	0.90
Case-5	0.98	0.99	1.01	1.00	－	0.96	1.00	－	0.99	－	0.99	0.99	0.89

レベル1地震時【正曲げ:最大強度点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)	平均	Case-2を0.9とした場合
Case-1	1.16	－	－	－	1.20	－	－	1.21	－	1.23	－	1.20	1.08
Case-2	1.00	－	－	－	1.00	－	－	1.00	－	1.00	－	1.00	0.90
Case-3	0.86	－	－	－	0.85	－	－	0.86	－	0.85	－	0.86	0.77
Case-4	0.79	－	－	－	0.77	－	－	0.77	－	0.79	－	0.78	0.70
Case-5	0.62	－	－	－	0.61	－	－	0.61	－	0.62	－	0.62	0.55

レベル1地震時【負曲げ:最大強度点】

	場所打ち杭工法	鋼管ｿｲﾙｾﾒﾝﾄ杭工法	回転杭工法(鋼管)	打込み杭工法(鋼管)	打込み杭工法(PHC)	打込み杭工法(SC)	中掘り杭工法(鋼管)	中掘り杭工法(PHC)	中掘り杭工法(SC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(PHC)	ﾌﾟﾚﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ杭(SC)	平均	Case-2を0.9とした場合
Case-1	1.02	－	－	－	1.00	－	－	1.00	－	1.02	－	1.01	0.91
Case-2	1.00	－	－	－	1.00	－	－	1.00	－	1.00	－	1.00	0.90
Case-3	1.00	－	－	－	1.00	－	－	1.00	－	1.00	－	1.00	0.90
Case-4	1.00	－	－	－	1.00	－	－	0.98	－	1.00	－	0.99	0.90
Case-5	0.98	－	－	－	0.98	－	－	1.00	－	0.98	－	0.99	0.89

表−5.2.6　曲げモーメントに対する弾性限界点の照査における部分係数と比

	地盤の変形係数の推定方法		部分係数		比	
			正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ
Case-1	杭の水平載荷試験により求める場合		0.94	0.86	1.06	1.00
Case-2	標準貫入試験に加えて室内試験又は孔内水平載荷試験を行って求める場合		0.88		1.00	
Case-3	標準貫入試験のみから求める場合	N≧5 の砂質土	0.83		0.94	
Case-4		N≧5 の粘性土	0.81		0.92	
Case-5		N＜5	0.73		0.82	

表−5.2.7　曲げモーメントに対する最大強度点の照査における部分係数と比

	地盤の変形係数の推定方法		部分係数		比	
			正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ
Case-1	杭の水平載荷試験により求める場合		0.73	0.51	1.15	1.00
Case-2	標準貫入試験に加えて室内試験又は孔内水平載荷試験を行って求める場合		0.61		1.00	
Case-3	標準貫入試験のみから求める場合	N≧5 の砂質土	0.52		0.88	
Case-4		N≧5 の粘性土	0.47		0.81	
Case-5		N＜5	0.37		0.65	

5.3　まとめ

本章では，杭基礎の部材照査のうち曲げモーメントに対する弾性限界点および最大強度点の照査に関する部分係数の検討を行った。得られた主な成果と今後の課題を以下に示す。

・曲げモーメントに対する弾性限界点および最大強度点の照査に用いる部分係数について，従来の基準で設計された杭の信頼性を評価したうえで，従来の基準における安全率の経緯を考慮した上で目標とする信頼性を設定し，対応する部分係数を計算した。
・検討の結果，杭頭に生じる正曲げモーメントに対しては地盤調査法や地盤の種類に応じて異なる部分係数を定める一方，地中部に生じる負曲げモーメントに対しては条件によらず一律の係数を定める結果となった。
・従来は基本的に安全率が一律となっていたことに対して，今回の方法により，地盤調査法等に応じて異なる部分係数としたことにより，推定精度の違いによらず同等の信頼性を確保する設計が可能となる。また，精度の高い地盤調査法を適用した場合に合理的な設計を行うことが可能となる。
・一方で，応答に関する不確実性と抵抗に関する不確実性は別々に評価しているため，それぞれの不確実性に対応する部分係数を設定していくことも考えられる。
・また，今回は差別化を行わなかったものの，杭列数等の構造条件により杭基礎の挙動として水平移動が卓越するか回転が卓越するかが異なるが，こうした挙動の違いによっても信頼性に差が生じる可能性が確認された。このため，今後は杭列数等の構造条件に応じた部分係数の検討を行っていくことが考えられる。

【参考文献】

1）七澤利明，眞弓英大，河野哲也，坂本裕司，田辺晶規，河村淳，宮原清，今野貴元：橋梁基礎形式の選定手法調査，土木研究所資料第 4339 号，2016. 10.

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4382 December 2018

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
国立研究開発法人土木研究所　企画部　業務課
〒305-8516　茨城県つくば市南原 1-6　電話 029-879-6754