

地盤構造物の信頼性解析法の開発 その2：杭基礎

岐阜大学 学生会員(現 JR 東海建設) 勝野勇二
 岐阜大学 正会員 大竹 雄
 岐阜大学 正正員 本城勇介

1. 目的

本研究は、地盤構造物の実務的な信頼性解析法の開発を目的としている。実構造物の設計例題を通して具体的な設計方法を提示し、さらに、不確実性に関する考察を通じて橋梁基礎設計における課題を明確にする。

対象とする構造物は、橋梁の直接基礎、杭基礎、そして仮設土留め設計である。その2では、杭基礎の具体的な計算方法と結果を示す。

2. 杭基礎の設計例題

2.1 対象施設

図1に示す連続高架橋脚の杭基礎を研究対象とした。支間は18mで等間隔に橋脚が配置され、地盤調査は、標準貫入試験が実施され、概ね1橋脚おきにある。対象とする区間には、合計4箇所実施されている。また、この高架橋は、図1に示した研究対象区間を含め総延長1460mあり、標準貫入試験に加えて3箇所の鉛直載荷試験を実施しているのが特徴である。これらの地盤調査、試験結果が杭基礎の信頼性に及ぼす影響を定量評価する。

基礎形式は、場所打ち杭が採用された。支持地盤は、砂質土層(Ds2)である。杭基礎の杭径は1m、杭長は支持地盤へ杭径の1m程度を根入れし15.0~18.0mで計画された。なお、既往の設計では、これらの構造寸法は、地震時の鉛直支持力の照査により決定されていることから、鉛直支持力に着目する。

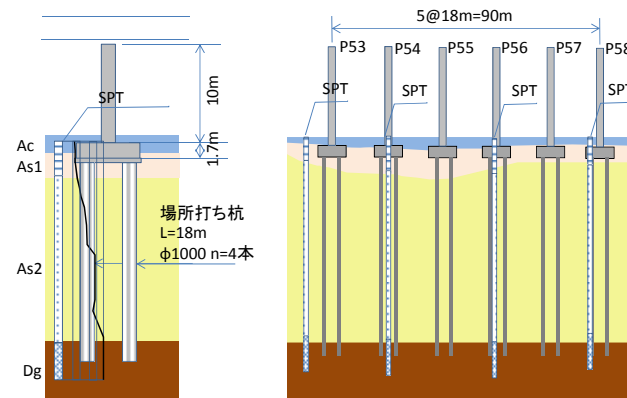


図1 設計条件図

2.2 不確実性の定量化

(1)空間的ばらつきのモデル化

N値に基づいて空間的ばらつきをモデル化する。図2は、As2層に着目してN値の深度分布を重ねて示したものである。2次関数をトレンド関数とした。ランダム成分は、正規分布でモデル化でき、平均0.0、標準偏差7.4であった。さらに、図3に示すようにランダム成分の自己相関構造を推定した。指数関数形を採用し自己相関は水平方向7m、鉛直方向0.7mと推定された。As1層、Dg層についても同様に分析を行い表4に示すようにモデル化を行った。ただし、自己相関距離については、As2層と同様の値を仮定した。

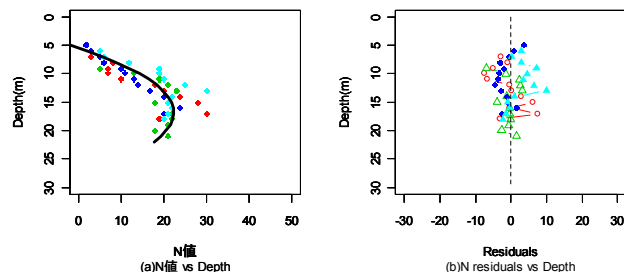


図2 As2層のN値とランダム成分の深度分布

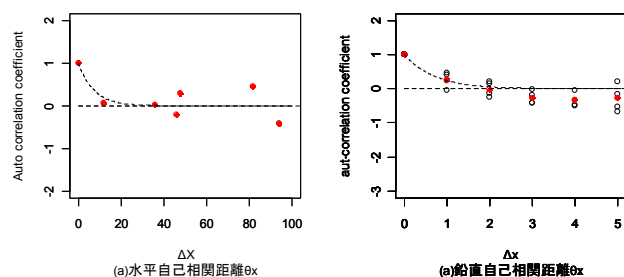


図3 As2層の自己相関構造の分析結果

表1 空間的ばらつきのモデル化

	トレンド成分	ランダム成分		
		σ	θ_x	θ_y
As1	5	3.3	7	0.7
As2	※	7.4	7	0.7
Dg	41	14.4	7	0.7

$$※N=-26.6+5.9z-0.1z^2$$

(2)空間的ばらつきの低減と統計的推定誤差

杭の鉛直支持力は、杭の周面摩擦抵抗(Skin)と先端支持力(Tip)に分類して考えることができる。局所平均の範囲Vは、周面摩擦については、杭の周長とし、先端支持力については、大竹・本城¹⁾の方法に従い、Prandtl型の支持力すべり線の範囲から設定した。

これにより計算される空間的ばらつきの低減を表す分散関数 Γ と統計的推定誤差を表す一般 Λ_G 及び局所 Λ_L 推定分散関数を表2に示す。具体的な計算方法については文献1)を参照されたい。

表2 分散関数と推定分散関数

		$V_x(m)$	$V_z(m)$	Γ^2	Λ_G^2	Λ_L^2
Skin	As1	3.14	4	0.49	0.07	-0.04
	As2	3.14	13	0.05	0.02	-0.07
	Dg	3.14	1	0.09	0.03	-0.02
Tip	Dg	6.4	3.0	0.18	0.13	0.01

※ Λ_L はP56の値

図3は、一般推定と局所推定による評価結果を空間的に表現したものである。上段が周面摩擦、下段が先端支持である。なお、P54、P55、P56地点に着目して示している。一般推定の結果は、位置関係を考慮しない、つまり、どの地点においても同一の値が得られる。局

所推定の結果は、調査地点付近で統計的推定誤差は 0 である。標準貫入試験が実施されていない P55 地点で統計的推定誤差が大きくなり一般推定と概ね一致する。

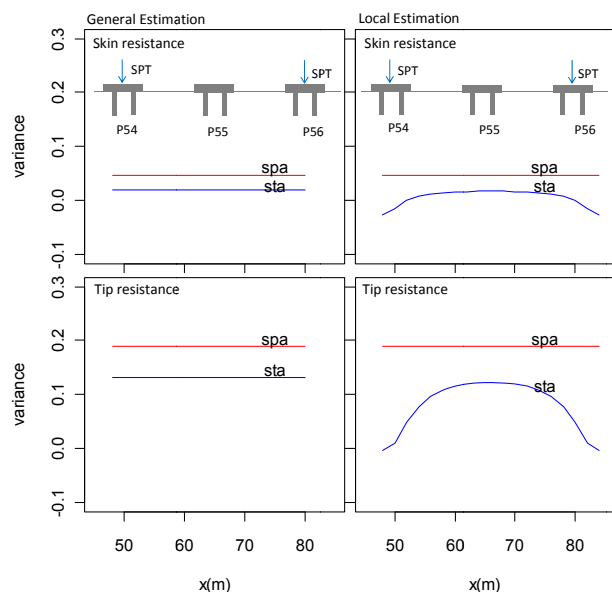


図 3 空間的ばらつきと統計的推定誤差

(3) 設計モデル化誤差

道示に示されている杭基礎の支持力算定式を用いて信頼性解析を行う。いずれも N 値をパラメータとした経験式で線形回帰モデルとなっている。この式の導出時の回帰誤差を設計モデル化誤差として取り扱う。この結果は岡原ら²⁾に詳しい。

これに加えて、先に示したとおり、現地では載荷試験が行われているため、このデータを用いて当該現場の N 値の支持力算定式を導出した。その式とその回帰精度を考慮した場合も検討を行った。ここでは、データ数が 3 箇所と乏しいことから t 分布でモデル化した。

表 3 変換誤差と設計モデル化誤差

基本変数	n	bias	COV	分布	式
周面(道示)	32	1.12	0.46	対数正規	5N
周面(現場)	3	1.00	0.30	t 分布	5.6N
先端(道示)	32	1.07	0.63	対数正規	100N
先端(現場)	3	1.00	0.17	t 分布	97N

(4) 地震時荷重の不確実性

Honjo&Amatya³⁾の結果を用いる。この研究では、宇佐美カタログに基づき東京の1600年～1996年の間の地震 ($M>5$, 震源深さ<60km, 震央距離<200km) を抽出して、距離減衰式(福島-田中式)¹⁾で計算される地表面加速度を推定し、このデータから POT 解析により GP 分布で当てはめ 100 年最大値の期待値の分布を得ている。

2.2 信頼性解析結果と考察

(1) 載荷試験データを用いない場合

MCS により信頼性解析を行った。得られた当該基礎の信頼性は、信頼性指標 β で常時 3.2 程度、地震時で 1.6 程度が得られた。

図 4 は、P54 から P56 区間に着目し、各不確実性の程度と寄与度を整理した図である。局所推定を行うとポ

ーリング調査を実施していない P55 地点で不確実性が大きく、信頼性指標 β が小さくなる傾向が読み取れる。ただし、周面摩擦や先端支持のモデル化誤差の影響が極めて支配的であるため、位置関係に関わる統計的推定誤差の影響は構造物の信頼性に寄与する程度は小さい。

(2) 載荷試験データを用いる場合

そこで、現場の載荷試験データを活用して再検討した。その結果を図 5 に示す。信頼性指標 $\beta=3\sim 3.5$ 程度と大きく改善し、空間的ばらつきや統計的推定誤差などの地盤パラメータ設定に関わる不確実性の寄与度が大きくなる。これにより、地盤調査と設計位置の関係が構造物の信頼性へ与える影響が顕著になる。

(3) まとめ

- ・ 具体的な設計例題に基づいて提案する信頼性解析法に基づく方法・手順を示した。
- ・ 現行の設計には、変換誤差やモデル化誤差などに極めて影響の大きい不確実性が含まれている場合があることを示した。また、載荷試験結果の効果を信頼性解析に取り込むことにより、試験結果の利用の効果を定量的に示す方法とその結果を示した。
- ・ これにより、適切な試験や調査の実施が構造物の信頼性を大きく向上させる可能性を指摘した。
- ・ 本手法により得られる情報から、必要な地盤調査や試験の数や位置の最適化のこの議論が可能となると考えられ、設計者や管理者に重要な資料を提供する有効な方法であることを示した。

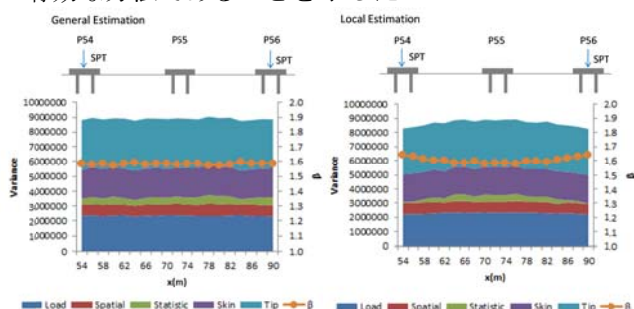


図 4 各不確実性の寄与度(載荷試験データ未使用)

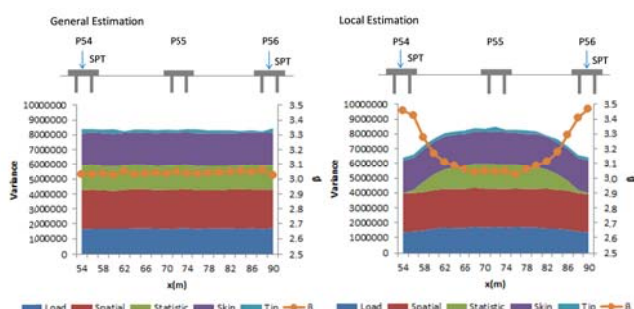


図 5 各不確実性の寄与度(載荷試験データ使用)

参考文献

- 1) 大竹・本城：局所平均を用いた地盤パラメータの空間的バラツキの簡易評価理論の検証，土木学会論文集(c) (投稿中)
- 2) 岡原・高木・中谷・木村：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
- 3) Honjo・Amatya：Partial factors calibration based on reliability analyses for square footings on granular soils, Geotechnique 55, No. 6, 479-491(2005).