

## CS-101

## 杭基礎の水平支持力の信頼性評価に基づいた性能設計に関する基礎的研究

若築建設（株） 正員 石原 寛隆  
 岐阜大学 工学部 正員 本城 勇介  
 （株）建設技術研究所 正員 松井 謙二  
 清水建設（株） 正員 鈴木 誠  
 建設省 正員 木村 嘉富

## 1. はじめに

性能設計の耐震設計への適用の1つの契機となったと言われる Vision2000 では、構造物の性能と外力頻度の関係を性能マトリックスで表した。

性能設計の導入により構造物が最終的に満たすべき性能が明確になるほど、設計法自体の予測の精度が問われるようになる。実際、設計法と精度のかね合いで、何段階の限界状態を規定できるかという議論も行われている。

以上のような背景をふまえ、本研究では「確率に基づいた限界状態設計法」を道具として、杭基礎の性能設計について検討し、その可能性や問題点を明確にすることを目的としている。

## 2. 限界状態、性能マトリックスと Pushover 曲線

本研究では、性能設計と限界状態設計法を結びつける接点として、性能マトリックスにおける構造物の性能を限界状態により規定する。性能マトリックスでは、荷重の頻度と構造物の性能を軸にとり、構造物の「重要度」をパラメータとして構造物の性能規定を行う（図-2）。

また、Pushover 曲線を用いて、水平力を受ける杭基礎の各限界状態を予測することができる。これを概念的に示したのが図-3 である。

## 3. Fragility 曲線と信頼性解析

本研究で用いる信頼性解析の方法は、いわゆるレベルⅡの解析方法であり、advanced FORM といわれる方法である (Thoft-Christensen and Baker, 1982)。

図-3 に示した抵抗側の確率密度分布を積分して得られる確率分布関数  $F_R(x)$  は、ある外力のレベル  $x$  を与えたときに構造物が当該限界状態にいたる確率と見ることができる。すなわち、

$$\Pr ob[LS_i | X = x] = F_R^{LS_i}(x) = \int_{-\infty}^x f_R^{LS_i}(s) ds \quad (1)$$

ここに、 $LS_i$  は使用、修復、終局のいずれかの限界状態を表す。分布関数  $F_R^{LS_i}(x)$  によって表される曲線を

**Fragility**（もろさ）曲線と呼ぶ。

これは、荷重レベルが確定的に与えられたときの当該設計法による予測の精度を表していると考えられ、設計法の精度と、限界状態の設定に有益な情報を与える。

また、このときこの **Fragility** 曲線の広がりに影響を与える各基本変数の影響は、信頼性解析のとき得ら

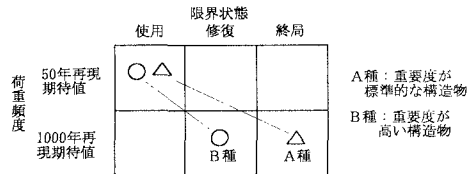


図-2 性能マトリックス

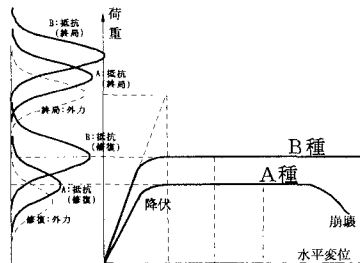


図-3 基礎の状態と限界状態の概念図

れる感度係数  $\alpha_i$  の値を参照することにより検討できる。

## 4. 設計計算モデル

具体例は友永ら(1997)に基づいており、 $3 \times 4 = 12$ 本の杭により支えられた橋脚基礎の橋軸直角方向への Pushover 解析である（図-4 参照）。なお、今回の解析では、杭自身の降伏は考慮していない。

また、入力値及びそのパラメータの不確実性に関する入力値を表-1と表-2に示す。

## 5. 結果

Pushover 解析は、構造物の重要度別にA種、B種の2種類の基礎について行った。結果を図-5に示す。

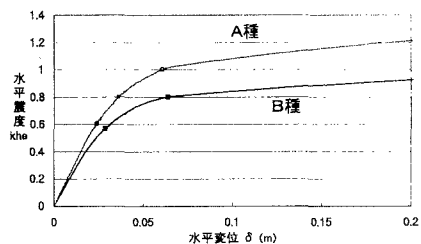


図-5 Pushover 曲線

キーワード：性能設計、限界状態設計法、Pushover 曲線、Fragility 曲線、信頼性解析

連絡先：岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 TEL/FAX 058-293-2435 e-mail: honjo@cc.gifu-u.ac.jp

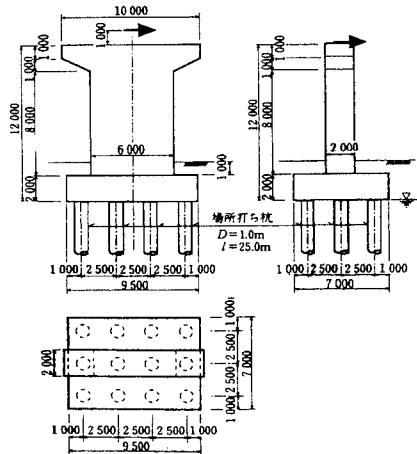


図-4 橋脚一般図

表-1 入力値

|                  | 地層<br>(m)  | $k_H$<br>( $gf/m^3$ ) | $P_{HU}$<br>( $gf/m^2$ ) | $K_{SV}$<br>( $gf/m$ ) | $K_V$<br>( $gf/m$ ) | $U_{rl}$<br>( $gf$ ) | $R_p$<br>( $gf$ ) |
|------------------|------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| A種<br>杭径<br>1.0m | 砂質<br>5.8  | 12343.0               | 139.5<br>262.2           | 4172.5                 | —                   | 32.0                 | —                 |
|                  | 粘性<br>12.3 | 8514.8                | 125.9<br>161.1           | 2980.4                 | —                   | 31.4                 | —                 |
|                  | 砂質<br>5.9  | 50286.7               | 738.3<br>935.3           | 14901.9                | —                   | 66.0                 | —                 |
|                  | 砂質<br>1.0  | 108049.8              | 1365.2<br>1393.3         | 29803.8                | 49672.9             | 94.2                 | 1099.6            |
| B種<br>杭径<br>1.2m | 砂質<br>5.8  | 13028.3               | 139.5<br>262.2           | 1367.1                 | —                   | 38.5                 | —                 |
|                  | 粘性<br>12.3 | 8987.6                | 151.1<br>217.3           | 3119.4                 | —                   | 37.7                 | —                 |
|                  | 砂質<br>5.9  | 53078.6               | 738.3<br>935.3           | 15596.8                | —                   | 79.2                 | —                 |
|                  | 砂質<br>1.0  | 114048.8              | 1365.2<br>1393.3         | 31193.7                | 62387.3             | 113.1                | 1583.4            |

注)  $P_{HU}$  … 上段の値は土層上端の値、下段の値は、土層下端の値を示す。

表-2 基本変数の不確実性

| 変数記号               | 説明                                    | 平均値  | 変動係数 |
|--------------------|---------------------------------------|------|------|
| $\delta_{k_{sv}1}$ | 杭周面砂質土地盤の鉛直方向地盤反力係数の不確実性              | 1.09 | 0.65 |
| $\delta_{k_{sv}2}$ | 杭周面粘性土地盤の鉛直方向地盤反力係数の不確実性              | 0.87 | 0.47 |
| $\delta_{k_v}$     | 杭先端の鉛直方向ばね定数の不確実性                     | 0.87 | 0.47 |
| $\delta_{k_H}$     | N 値より推定された水平方向地盤反力係数の不確実性             | 1.55 | 0.96 |
| $\delta_f$         | 周面摩擦力の推定値の不確実性                        | 1.04 | 0.46 |
| $\delta_{qd}$      | 杭先端支持力度の不確実性                          | 1.12 | 0.63 |
| $\delta_{PHU}$     | 受動土圧係数の不確実性                           | 1.0  | 0.1  |
| $\sigma_N$         | 杭長について平均化されたN 値の空間的ばらつき <sup>注)</sup> | 1.0  | 0.05 |

岡原ら(1991)による

注) Vanmarcke(1977)の提案した方法により、空間平均による分散の低減を考慮している。

A種の基礎について、

(1)原点から、傾きがほぼ直線と思われるのは、 $k_{HE}=0.6$ 付近までであり、杭は地盤の弾性的な挙動により支配されていると考えられる。

(2)  $k_{HE}=0.6\sim 0.8$ の範囲では、Pushover 曲線は、勾配が緩やかになって行く。 $k_{HE}=0.8$ では、第一列目の杭の鉛直支持力は、降伏に達しており、また第3列目の杭の鉛直支持力もほぼ降伏しており、抜け上がり破壊している。しかし、水平方向の杭基礎全体の全面的な降伏には、まだ余裕がある。

(3)  $k_{HE}=0.8$ 以上では、Pushover 曲線は、ほぼ一様の勾配で急速に変位を増している。

また、B種の基礎についても同じようなことがいえる。

次に二つの杭基礎の性能、すなわち使用・終局限界状態に対して計算された Fragility 曲線を図-6 に示す。また、前者は水平変位  $\delta=0.01m$ 、後者は水平変位  $\delta=0.08m$  に達した時にそれぞれの限界状態に達したものとした。

使用限界状態に対する Fragility 曲線は、 $k_{HE}=0.1\sim 0.4$  の範囲にある。これに対し、終局限界状態のそれは  $k_{HE}=0.6\sim 1.4$  の範囲にあり、はるかに寝ている。これは、前者に対する杭基礎の変形予測は、後者に対するそれよりもかなり高い精度で行うことができることを示している。

図-7 にそれぞれの Fragility 曲線の 10%点における感度係数の割合を示した。使用限界状態では、水平方向地盤反力係数が支配的であり、終局限界状態では、周面鉛直せん断強度と、先端支持力が支配的である。

参考文献 岡原ら；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、1991

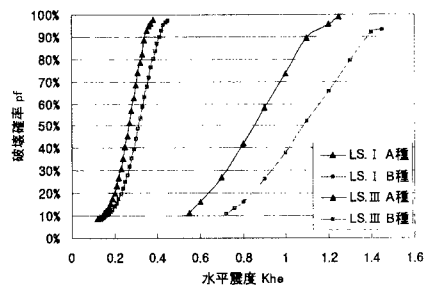
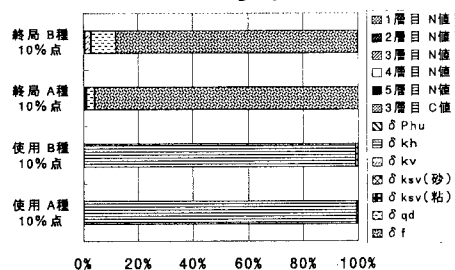


図-6 Fragility 曲線

図-7 破壊確率 10%点における感度係数  $\alpha$