

既存建物基礎の耐震診断方法の検討(その2 杭基礎の1次診断)

正会員	○内田明彦*1	正会員	國松 諭*2
同	佐野大作*3	同	鈴木 泉*4
同	二木幹夫*5	同	久世直哉*5

耐震診断 既存基礎 杭基礎

1. はじめに

その1では1次診断の概要と直接基礎の診断方法について紹介した。その2では、杭基礎を対象とした1次診断の概要と診断事例について紹介する。

2. 杭基礎の1次診断の概要

杭基礎の1次診断は杭の耐震性能の大きさを表す杭基礎の耐震指標 I_{sf} と想定する地震動レベルに応じた杭基礎の耐震判定指標 I_{sof} より耐震性を評価する診断方法であり、既往の文献¹⁾²⁾を参照して作成した。杭基礎の診断フローを図1に示す。この診断によって概略的な杭基礎の耐震安全性が確認でき、継続使用の可否や基礎補強の必要性などを検討する際の参考となる。

2.1 液状化の検討

診断に際してまず地盤の液状化の検討を行う。検討用の地震動としては耐震診断で用いる地震動レベルを想定し、建築基礎構造設計指針の方法に従って検討する。液状化すると判定された土層に対しては低減係数 β を設定する。

2.2 杭基礎の保有性能基本指標 E_{of}

杭基礎の保有性能基本指標 E_{of} は文献にならい算定する。まず、杭1本あたりの軸力から COPITA のツール³⁾などを利用して終局曲げモーメント M_u を算定する。次に、Broms の設計法より、各諸元の杭1本あたりの曲げ終局時のせん断力 Q_{Mu} を算定する。算定条件は「杭頭固定(回転拘束)」かつ「長い杭(2点ヒンジ)」である。砂質土地盤の場合の算定式を次式に示す。

$$Q_{Mu} = 2.38 \times \sqrt[3]{\beta \kappa_p \gamma B M_u^2} \quad (1)$$

$$D_y = \sqrt{\frac{2Q_{Mu}}{3\beta \kappa_p \gamma B}} \quad (2)$$

ここで、 $\kappa_p = \frac{1+\sin \phi'}{1-\sin \phi'}$ 、 $\phi' = \sqrt{20N} + 15$ 、 N : N 値、

β : 液状化判定時の低減係数、 γ : 単位体積重量、 B : 杭径、 M_u : 杭体の終局曲げモーメント

算定モデル上、多層地盤を一様地盤に単純化する必要があるため、地盤定数は地中の最大曲げモーメント発生深度 D_y 以浅の値を層厚で重み付け平均して求める。その時得られた Q_{Mu} 値から新たな D_y を算定し、収束計算を行って Q_{Mu} を求める。 D_y の初期値は場所打ちコンクリート杭:7m、既製杭:4mを参考値とする。

杭基礎全体の強度指標 C は次式に従って算定する。

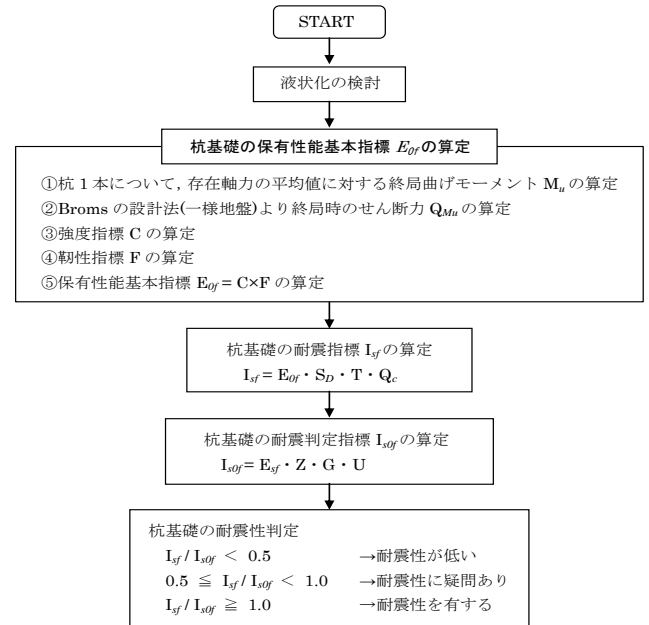


図1 杭基礎の1次診断フロー

$$C = Q_{Mu} \times n / \Sigma W \quad (3)$$

ここで、 Q_{Mu} : 曲げ終局時のせん断力(場所打ちコンクリート杭の場合は0.75倍)、 n : 杭本数、 ΣW : 建物重量
さらに、杭種ごとに設定した靱性指標 F を用いて次式により算定する。

$$E_{of} = C \times F \quad (4)$$

ここで、靱性指標 F は杭種ごとに塑性率 μ から算定する。 $F = \phi \sqrt{2\mu - 1}$ 、 ϕ : 杭種による係数、 $\mu = \delta_c / \delta_y$ 、 δ_c : コンクリート縁圧壊時変位、 δ_y : 鉄筋降伏時変位 (δ_y がない場合は $\mu = 0$)、場所打ちコンクリート杭及び鋼管杭(中詰めあり)の場合: $\mu = 4.0$ 、 $\phi = 1 / \{0.75(1 + 0.05\mu)\}$ 、既製コンクリート杭 (PHC) 及び鋼管杭(中詰めなし)の場合: $\mu = 1.0$ 、 $\phi = 1.0$

2.3 杭基礎の耐震指標 I_{sf}

杭基礎の耐震指標 I_{sf} は耐震性能の大きさを表す指標で既存 RC 造建築物における I_s 指標を参考に次式で求める。

$$I_{sf} = E_{of} \cdot S_D \cdot T \cdot Q_c \quad (5)$$

ここで、 E_{of} : 基礎の保有性能基本指標、 S_D : 形状指標、 T : 基礎の経年指標、 Q_c : 基礎の施工指標

2.4 杭基礎の耐震判定指標 I_{sof}

杭基礎の耐震判定指標 I_{sof} は既存 RC 造建築物における I_{s0} 指標を参考に次式で求める。

表 1 杭基礎の一次診断事例

	件名	所在地	建設年	杭	上部構造の被害	杭の被害	杭の被害レベル	設定地下水位	Isf	IsOf	Isf/IsOf	
阪神淡路	1 No.23 団地	中央区相生町	1965	場所打ち杭	層崩壊	ひび割れ、主筋降伏	A 小破	GL-3.0m	1.06	0.8	1.33	非液状化
	2 No.25 団地	中央区磯辺通	1965	鋼管杭	層崩壊	被害なし	0 無被害	GL-4.0m	0.72	0.8	0.90	液状化
	3 No.6 住宅	東灘区深江南町	1995	PHC杭	傾斜・軽微な破損	杭頭破損	B 大破	GL-3.0m	0.24	0.8	0.30	液状化
	4 No.12 住宅	東灘区本山南町	1986	PHC杭	軽微	隅杭のみ破損	B 大破	GL-2.0m	0.49	0.8	0.61	非液状化
	5 Mビル	東灘区深江浜	1973	PC杭	傾斜	中間部で破損	B 大破	GL-2.35m	0.18	0.8	0.23	液状化
	6 Wビル	中央区港島中町	1978	PHC杭	傾斜	中間部で破損	B 大破	GL-3.5m	0.55	0.8	0.69	液状化
	7 O1 住宅	須磨区大池	1970	PC杭	傾斜・軽微な破損	杭頭破壊	B 大破	GL-1.0m	0.34	0.8	0.43	非液状化
	8 O2 住宅	須磨区大池	1989	場所打ち杭	被害なし	被害なし?(未調査)	0 無被害	GL-1.0m	1.22	0.8	1.53	非液状化
	9 H 高校	東灘区深江浜	1976	鋼管杭	軽微	杭頭傾斜	A 小破	GL-3.10m	0.53	0.8	0.66	液状化
宮城県沖	10 K住宅1	太白区郡山	1978	PC杭	傾斜・軽微な破損	圧潰	B 大破	GL-3.2~4.2m	0.31	0.57	0.54	非液状化
	11 K住宅2	太白区郡山	1977	PC杭	被害なし	軽微	A 小破	GL-3.2~4.2m	0.28	0.57	0.49	非液状化
	12 MYビル	若林区卸町	1970	PC杭	大破・倒壊	全長にひび割れ	A 小破	GL-3.10m	0.4	0.57	0.70	非液状化
	13 TGビル	宮城野区苦竹	1964	PC杭	大破・倒壊	被害なし	0 無被害	GL-1.0m	0.63	0.57	1.11	非液状化
	14 C学園	太白区長町	1972	PC杭	傾斜	杭頭破壊	B 大破	GL-5.5m	0.38	0.57	0.67	非液状化
	15 S住宅	宮城野区福室	1976	PHC杭	雑壁破損	ひび割れ~圧壊	B 大破	GL-1.5m	0.2	0.57	0.35	非液状化

$$I_{sOf} = E_{sf} \cdot Z \cdot G \cdot U \quad (6)$$

ここで、 E_{sf} ：基礎の耐震判定基本指標、 Z ：地域指標、 G ：地盤指標、 U ：用途指標

なお、 E_{sf} は想定する任意の地震動レベルに応じて次式より算定する。 E_{sf} は 1995 年兵庫県南部地震での被災事例の検証に基づいて採用された 0.8 を基本とし、1978 年宮城県沖地震での被災事例に基づく著者らの検討を踏まえて、地表面最大加速度 α_{max} の比率より設定している。

$$E_{sf} = 0.8 \times \alpha_{max} / 350 \quad (7)$$

ここで、 α_{max} ：地表面最大加速度(cm/s²)

2.5 結果の判定

杭基礎の 1 次診断では基礎の耐震指標 I_f と耐震判定指標 I_{sOf} の比より以下のように判定する。

- $I_{sf}/I_{sOf} < 0.5$: 耐震性が低い
- $0.5 \leq I_{sf}/I_{sOf} < 1.0$: 耐震性に疑問あり
- $I_{sf}/I_{sOf} \geq 1.0$: 耐震性を有する

I_{sf}/I_{sOf} が 0.5 未満の場合は、杭基礎の耐震性が低いと判断し、耐震補強対策を検討するか 2 次診断もしくは個別検討法によって耐震性を判断する必要があるとしている。また、 I_{sf}/I_{sOf} が 0.5 以上 1.0 未満の場合は杭基礎の耐震性に疑問があり、2 次診断もしくは個別検討法によって耐震性を判断する必要があるとしている。 I_{sf}/I_{sOf} が 1.0 以上の場合は杭基礎が耐震性を有していると判断できる。

3. 被災事例による検証

判断指標である I_{sf}/I_{sOf} の適用性を確認するため、1995 年兵庫県南部地震および 1978 年宮城県沖地震を経験した建物の診断結果と被害事例を比較した。表 1 に対象とした事例一覧を示す。杭の被害レベルは文献に示された調査結果より、無被害、小破、大破の 3 段階とした。また、検討用の地震動レベルとして、兵庫県南部地震の事例については地表面加速度 350cm/s²、宮城県沖地震の事例については 250cm/s² を採用した。

図 2 に判断指標 I_{sf}/I_{sOf} と被害レベルの関係を示す。耐震診断の前提条件として、上部構造が健全であることを挙

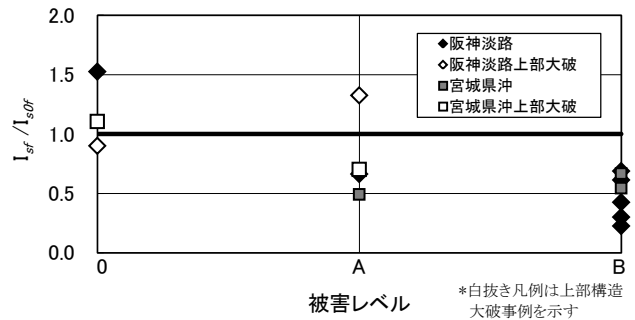


図 2 診断事例における判定結果と被害事例の関係

げているので、上部構造が大破した事例は白抜きで表示した。図より、被害レベルが上がると判断指標が小さくなる傾向が認められ、判断指標は 2 つの地震の杭の被害を概ね説明できることが分かる。

4. まとめ

既存建物基礎の耐震診断として最も簡易な杭基礎の 1 次診断の方法と被災事例による検証結果を紹介した。得られた結論は次の通りである。

- 1) 既往の研究成果をもとにして、地震動レベルに応じた耐震診断が可能となるように判断指標を比で表すこととした。
- 2) 2 つの地震による被災事例での検証を行ったところ、判断指標 I_{sf}/I_{sOf} と杭の被害レベルが概ね対応していることから、本提案による杭基礎の 1 次診断は杭基礎の耐震診断として利用できると考えられる。

・謝辞：本検討は一般財団法人ベターリビングによる基礎構造の耐震診断指針に関する活動（委員長：中井正一(千葉大学)）の一環として実施したものである。関係各位に感謝します。
<参考文献>

- 1) 丸岡、山下、青木、土屋、平井、椿原、藤村、角：既存建物基礎の耐震診断に関する一提案、日本建築学会技術報告集、No.8、pp85-90、1999。
- 2) 椿原、佐藤、山下、丸岡、藤村：杭基礎の簡易耐震診断に関する一提案（その 1、その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.503-506、1999。
- 3) (社)コンクリートパイル建設技術協会：杭の N-M 図・M-φ・せん断力図作成システム Ver. 2.4(COPITA 版)、2005.8

*1 (株)竹中工務店技術研究所
*2 旭化成建材(株)
*3 戸田建設(株) 技術研究所
*4 (株)フジタ 技術センター
*5 一般財団法人 ベターリビング つくば試験研究センター

*1 R&D Institute, Takenaka Corporation
*2 Asahi Kasei Construction Materials Corporation
*3 Toda Institute of Construction Technology
*4 Fujita Corporation, Technology Development Division
*5 Center for Better Living Tsukuba Building Research and Testing Lab.