

既存建物基礎の耐震診断方法の検討 (その1 直接基礎の1次診断)

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

既存建物基礎 耐震診断 直接基礎

1. はじめに

既存建築物における基礎構造については、大地震時の耐震性能評価方法が確立されておらず、またいくつかの提案法はあるものの普及していない。そこで著者らは既往の文献¹⁾²⁾を参考にして概略的、簡易的に基礎構造の耐震性を評価する手法を検討した。(その1)では直接基礎について、(その2)では杭基礎についてそれぞれの診断手法を紹介し、直接基礎では診断事例を、杭基礎では本診断手法を用いて過去の兵庫県南部地震、宮城県沖地震の被害事例による検証結果を報告する。

2. 直接基礎の1次診断の概要

直接基礎の1次診断は、基礎の部材健全性を評価するものではなく、基礎に有害な変形が生じるかどうかを診断するものである。

直接基礎の1次診断フローを図1に示す。本診断方法は、既往の文献¹⁾を参照して作成した。耐震性能の大きさを表す直接基礎の耐震指標 I_{sf} と想定する地震動レベルに応じた直接基礎の耐震判定指標 I_{s0f} により耐震性を診断するものである。

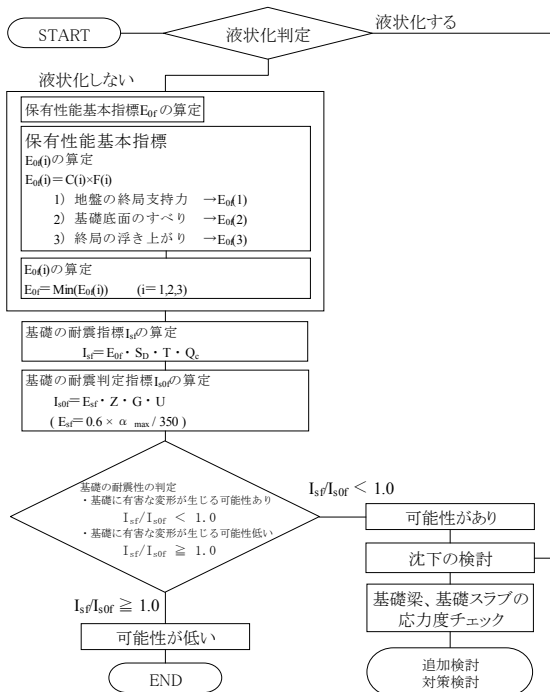


図1 直接基礎の1次診断の診断フロー

この診断により直接基礎の支持地盤の耐震安全性が確認でき、基礎補強や地盤補強の必要性を検討する際の参

考となる。

2.1 液状化の検討

診断に際して地盤の液状化判定を行う。検討用の地震動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。地盤が液状化すると判定された場合は、地盤の支持力が確保できないと判断し沈下の検討や基礎梁・基礎スラブの応力度チェックを行い基礎の健全性を確認する。

2.2 直接基礎の保有性能基本指標 E_{of}

直接基礎の保有性能基本指標 E_{of} の算定にあたっては、文献を参考に次の $E_{of}(1) \sim E_{of}(3)$ のうち最小値を E_{of} として用いる。

$$E_{of} = \min(E_{of}(1), E_{of}(2), E_{of}(3)) \quad \text{式(1)}$$

$E_{of}(1)$: 地盤の終局鉛直支持力より決まる値

$E_{of}(2)$: 基礎底面と地盤の摩擦抵抗より決まる値

$E_{of}(3)$: 建物全体の終局浮き上がり抵抗より決まる値

$E_{of}(1) \sim (3)$ は、建物の鉛直、水平変位及び回転に対する基礎の抵抗力の算定であり、建物荷重として常時荷重と地震時荷重(鉛直及び水平方向)を考慮する。

2.2.1 地盤の終局鉛直支持力より決まる値 $E_{of}(1)$

$$E_{of}(1) = C(1) \cdot F(1) \quad \text{式(2)} \quad F(1) = \sqrt{2\mu - 1} \quad \text{式(3)}$$

ここで $C(1)$ は、地震力の増分による鉛直荷重 $\Delta V(k)$ に常時鉛直荷重 V_0 を加えた数値が基礎の終局鉛直支持力に達する時の水平震度である。また、靱性指標 $F(1)$ は復元力特性として式(3)に示す完全弾塑性型を用い終局塑性率 $\mu (=3.0)$ から算定する。

2.2.2 基礎底面と地盤の摩擦抵抗より決まる値 $E_{of}(2)$

$$E_{of}(2) = C(2) \cdot F(2) \quad \text{式(4)} \quad C(2) = \sum R_H / \sum W \quad \text{式(5)}$$

$$F(2) = \sqrt{2\mu - 1} \quad \text{式(6)}$$

ここで $C(2)$ は、基礎底面での摩擦抵抗力を基礎底面での鉛直荷重で除したものである。また、靱性指標 $F(2)$ は復元力特性として式(6)に示す完全弾塑性型を用い終局塑性率 $\mu (=5.0)$ から算定する。

2.2.3 建物全体の終局浮き上がり抵抗より決まる値 $E_{of}(3)$

$$E_{of}(3) = C(3) \cdot F(3) \quad \text{式(7)} \quad C(3) = \alpha \cdot (V_0 / \Delta V_E) \cdot 0.2 \quad \text{式(8)}$$

ここで $C(3)$ は、式(8)を用いて基礎の一部が浮き上がる寸前の水平震度から算定する。

ここで、 V_0 : 常時鉛直荷重、 ΔV_E : 水平震度 0.2 での地震時鉛直荷重増分、 α : 地下室や基礎梁及び直交梁等による抑え効果

靱性指標 F(3)は、RC 造建築物の耐震診断基準を参考に
して第3次診断における回転壁の靱性指標 3.0 を用いる。

2.3 直接基礎の耐震指標 I_{sf}

直接基礎の耐震指標 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 指標を参考にして次式で
求める。

$$I_{sf} = E_{of} \cdot S_D \cdot T \cdot Q_c \quad \text{式(9)}$$

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

E_{of} は、直接基礎の終局水平強度、破壊形式及び靱性能
より、直接基礎が保有する耐震性能を評価する指標で、
強度が大きいほど、また変形性能が大きいほどその値は
大きくなる。

2.4 直接基礎の耐震判定指標 I_{sof}

直接基礎の耐震判定指標 I_{sof} は、既存 RC 造建築物にお
ける I_{so} 指標を参考にして次式で表す。

$$I_{sof} = E_{sf} \cdot Z \cdot G \cdot U \quad \text{式(10)}$$

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

E_{sf} は、既存 RC 造建築物における第2次・第3次診断用
の値に準じ 0.6 を基本設定とする。この E_{sf} は兵庫県南部
地震での地震動レベルを基に設定し、また、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} の比率より次式にて設定するこ
とができる。

$$E_{sf} = 0.6 \cdot \alpha_{max} / 350 \quad \text{式(11)}$$

ここで、 α_{max} ：地表面最大加速度 (cm/s^2)

2.5 結果の判定

直接基礎の1次診断では、基礎の耐震指標 I_{sf} と耐震判
定指標 I_{sof} の比により以下のように判定する。

$I_{sf}/I_{sof} < 1.0$: 基礎に有害な変形が生じる可能性あり

$I_{sf}/I_{sof} \geq 1.0$: 基礎に有害な変形が生じる可能性低い

I_{sf}/I_{sof} が 1.0 以上の時、対象となる直接基礎の支持地盤
が耐震性を有しており、基礎に有害な変形が生じる可能
性が低いと判断できる。また、 I_{sf}/I_{sof} が 1.0 未満の時、基
礎に有害な変形が生じる可能性があるため基礎に対する
沈下検討を実施し、使用上有害な沈下が生じるか基礎梁
及び基礎スラブの応力チェックを行い基礎の健全性を確
認する。また、より詳細な診断方法により耐震性の確認
を行うことも考えられる。

3. 直接基礎の診断事例

本診断を用いて、建築基礎構造設計例集の例題³⁾をモデ
ルにして診断方法を紹介する。

【建物概要】

建物用途：公共施設

敷地面積：3,068m²

建築面積：844m²

延床面積：1,496m²

構造種別：RC 造 地上2階

建物高さ：9.3m

建物総重量：32,955kN

基礎重量：9,462kN

基礎種別：独立フーチング基礎

3.1 $E_{of}(1) \sim (3)$ 及び E_{of} の算定

$E_{of}(1)$	基礎形状 2,600mm×2,600mm、 $V_0=1,403\text{kN}$ 、基礎重量 $w=217\text{kN}$ 、 $\Delta V(k)=671\text{kN}$ 、設計水平震度=0.2 から算定すると $C(1)=0.47$ となる。また $F(1)=(2 \times 3-1)^{1/2}=2.23$ より、 $E_{of}(1)=0.43 \times 2.23=1.05$
$E_{of}(2)$	式(5)より、基礎底面及び側面の摩擦抵抗と根入れ部の受働抵抗の合計値を基礎底面の鉛直荷重で除すと $C(2)=R_H/W=19,141/32,955=0.58$ となる。また $F(2)=(2 \times 5-1)^{1/2}=3.0$ より、 $E_{of}(2)=0.58 \times 3.0=1.74$
$E_{of}(3)$	$V_0=1,403\text{kN}$ 、 $\Delta V_E=671\text{kN}$ より $C(3)=V_0/\Delta V_E \times 0.2=0.42$ となる。また、 $F(3)=3.0$ より、 $E_{of}(3)=0.42 \times 3.0=1.26$

以上より $E_{of} = \min(E_{of}(1), E_{of}(2), E_{of}(3)) = 1.05$ となる。

この3つの指標のうち、 $E_{of}(1)$ が最小値となっており、 V_0 及び $\Delta V(k)$ の値が診断結果に大きく影響を及ぼすと考
えられる。

3.2 I_{sf} の算定

$E_{of}=1.05$ 、 S_D は正方形の基礎形状から 1.0、 T 及び Q_c
については便宜上 1.0 として式(9)より I_{sf} を算定すると、
 $I_{sf}=1.05 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0=1.05$ となる。

3.3 I_{sof} の算定

兵庫県南部地震と同じ地震動レベルを設定し、 $\alpha_{max}=350\text{cm/s}^2$ とする。 Z 、 G 及び U については便宜上 1.0
として式(10),(11)より $I_{sof}=0.6 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0=0.6$ となる。

3.4 診断結果

$I_{sf}/I_{sof}=1.05/0.6=1.75 \geq 1.0$ となり、本件は、『基礎に有害
な変形が生じる可能性低い』と判定される。

4. まとめ

既存建物基礎のうち、直接基礎の簡易的な耐震診断方
法と診断事例を紹介した。既往の研究を基に、判断指標
を比で表すことにより、地震動レベルに応じて耐震診断
が可能となった。また、今回報告した診断事例以外に同
じ設計例集からの診断結果や兵庫県南部地震で実際に被
災した事例⁴⁾の診断結果から、 $E_{of}(1)$ の鉛直支持性能が診
断結果の支配的な要因になる傾向が見られた。

〔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。関係者各位に感謝致します。

〔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, 1999.6
- 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, pp503-506, 1999
- 3) 社団法人日本建築学会:建築基礎構造設計例集, pp11-24, 2004
- 4) 加倉井,青木,平井,俣野:埋立て人工島における直接基礎の挙動,土と基礎,
pp64-66, 1996.2

*1 旭化成建材株式会社

*2 株式会社竹中工務店技術研究所

*3 株式会社フジタ 技術センター

*4 戸田建設株式会社技術研究所

*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 Asahi Kasei Construction Materials Corporation

*2 R&D Institute, Takenaka Corporation

*3 Fujita Corporation, Technology Development Division

*4 Toda Institute of Construction Technology

*5 Tsukuba Building Test Laboratory Center for Better Living