

建物基礎の地震被害予測手法の開発

広域分布する多数の建物への適用性

Studies on Seismic Damage Prediction Method for Building Foundations

Applicability to a Large Number of Buildings Located in Wide Areas

(土木建築部 建築G)

建物基礎の地震被害は、上部構造に比べると地中にあるため、明らかな傾斜や沈下が見られない限り調査が行われることは少ない。したがって調査事例が少なく、被害の評価手法に関する研究事例も少ないのが現状である。そこで、過去の被害事例を整理し、主に広域分布する多数の建物への適用を想定した簡易な被害予測手法を開発した。

(Architectural Engineering Group, Civil and Architectural Engineering Department)

Investigations of seismic damage of building foundation are rarely carried out unless clear inclinations or subsidences occur. Therefore, in the present condition, we have few investigation cases and there are few study cases about evaluation methods of building foundation. Then, we arranged the past examples, and developed a simple seismic damage prediction method for the purpose of evaluating a large number of buildings located in wide areas.

1 研究の背景と目的

建物の上部構造に関しては、 I_s 値と呼ばれる耐震性能の高さを表現する1つの診断指標があり、地震被害との関係が研究され、検討建物の I_s 値とその地点の震度から建物被害を簡便に推定する方法が確立されている。

しかし、基礎構造の被害に関しては、簡便な診断手法が確立されておらず、過去の被害事例を整理した上で、上部構造と同様に適切かつ簡易に被害を推定することができれば、多数の建物の地震被害予測や耐震補強計画に有用となる。

そこで、著者らはこれまで、上部構造の耐震指標 I_s 値と同様に、基礎構造についても耐震指標 $S-I_{sf}$ を導入し、地震被害との関係を明確にすることで、震度分布（地震の揺れの大きさを表す指標）と PL 値分布（液状化のし易さを表す指標）が与えられた時に、個別建物の基礎被害をマクロ的に簡易に推定する手法の開発と精度向上を検討してきた。

本稿では、まず基礎の耐震指標を提案した上で、近年の地震被害との相関を検討するため、2011年東北地方太平洋沖地震（以降、3.11地震と記す）で確認された基礎被害データを用いて、評価精度の向上を図った。

2 研究の概要

本稿では、まず建物基礎の地震被害予測に用いる簡易診断手法（以降、簡易診断手法と記す）について紹介する。その上で、下記3項目に対する検討を行い、広域分布する多数の建物への適用性と、基礎の耐震性能評価の精度の確認を行う。

- ①3.11地震による建物被害データベースの構築
- ②簡易診断手法のパラメータの最適化および被災度判定の検討
- ③簡易診断手法と2013年に（一財）ベターリビングよ

り出版された「基礎構造の耐震診断指針（案）」（以降、指針案と記す）による診断手法との比較

3 研究の成果

(1) 簡易診断手法の概要

建物基礎の被害区分は、評価精度を勘案して第1表に示すような4段階の区分を用いる。一方、被害レベルは、敷地地盤での地震力の大きさである水平震度 G_s と、敷地地盤を考慮した基礎構造の耐震指標 $S-I_{sf}$ との比 $G_s/S-I_{sf}$ で評価できると考えられる。 G_s は想定地震に対して公表されている地震ハザードマップ等により別途与えられる。 $S-I_{sf}$ は下記のように定義する。

$$S-I_{sf} = I_{sp} \cdot I_{sg} \quad (1)$$

$$I_{sp} = P_k \cdot T \quad (2)$$

$$I_{sg} = G_c \cdot \text{Min}(L_q, L_f) \quad (3)$$

I_{sp} ：基礎の耐力に関わる係数

I_{sg} ：地盤の影響に関する係数

P_k ：杭種に関する係数

T ：建設年代に関する係数

G_c ：地盤種別（1種（強固）、2種（中間）、3種（軟弱））

L_q ：液状化程度による低減係数（ PL 値による）

L_f ：側方流動による低減係数（護岸からの距離による）

このように複数の係数の積とする考え方は、上部構造の耐震指標 I_s 値をベースとしており、非常に簡易に評価可能である。

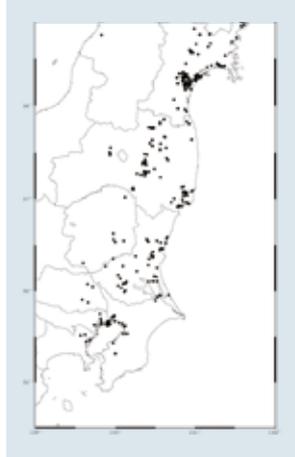
第1表 建物基礎の被害区分

被害区分	被災度	杭の場合の損傷状況	傾斜
無被害	0	被害なし	被害なし
軽微・小破	1	被害なし 軽微なひび割れ	1/300以下
中破	3	ひび割れが顕著 表面コンクリートの剥落	1/300～1/100
大破	5	杭頭破壊・座屈 軸方向に縮み 杭傾斜（地中部損傷）	1/100以上

(2) 3.11地震による建物被害データベースの構築

3.11地震における建物の被害調査結果の中から、被害予測手法に活用できるデータベースを整備した。

用いる文献は、日本建築学会や国土交通省の報告資料等に記載された被害事例に加えて、社外の被害調査報告書、浦安市の平成23年度液状化対策技術検討調査報告書を取り入れた。これらから前述のパラメータが求められる物件422件を用いた。第1図に全物件の位置を示す。宮城県から千葉県まで広域分布しており、千葉県については湾岸に集中している。第2表に被害区分の内訳を示す。表より、大破は10.2% (43件) を占めていることが分かる。



第1図 基礎被害物件の位置

第2表 被害区分の内訳

	被災度区分				計
	無被害	軽微小破	中破	大破	
件数	290	76	13	43	422
割合	68.7%	18.0%	3.1%	10.2%	

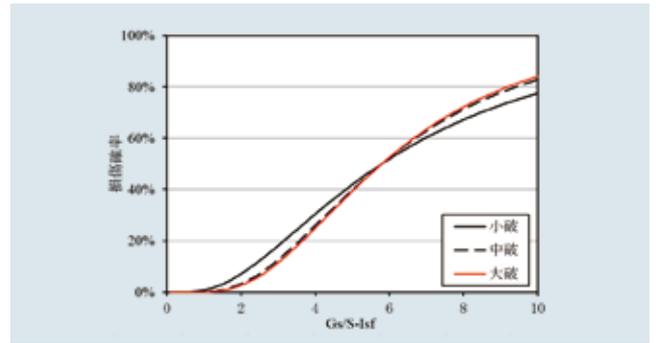
(3) 簡易診断手法のパラメータの最適化および被災度判定の検討

前述のデータベースを元に、 I_{sg} のパラメータの最適化を、 $G_s/S-I_{sf}$ と基礎の被災度の相関から検討した。これにより、数量データである $G_s/S-I_{sf}$ とカテゴリーデータである被災度の相関比を向上させ、感度分析により第3表に示す最適化されたパラメータを求めた。

さらに、第2図のようにフラジリティ関数（外力に対する損傷確率を表した曲線）を用いて、被災度区分を最もよく説明する関数を統計的に同定し、最終的に第4表に示すように被害予測マトリクスを作成して $S-I_{sf}$ と被災度区分の関係を明らかにした。

第3表 データベースより最適化したパラメータ

建設年代:T	～1981年	0.8	1981年～	1.0
基礎種別:Pk	場所打ち杭	1.1	鋼管杭	0.9
	PHC杭	0.6	PC杭	0.5
地盤種別:Gc	RC杭	0.5	直接基礎	1.4
	1種地盤	1.0	2種地盤	1.0
液状化:Lq	3種地盤	1.0		
	液状化の影響大 (PL値 ≥ 25)			0.7
	液状化の影響あり (15 \leq PL値 < 25)			0.8
	液状化の影響小 (PL値 < 15)			0.9
	液状化しない			1.2



第2図 同定されたフラジリティ関数

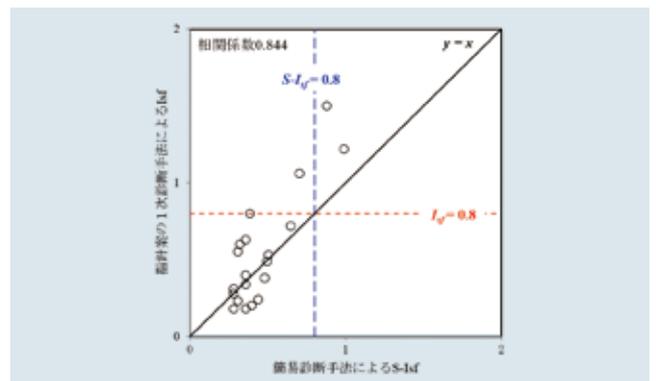
第4表 被害予測マトリクスの例

	震度6弱	震度6強	震度7
$0.9 \leq S-I_{sf}$	無被害	無被害	小破
$0.6 \leq S-I_{sf} < 0.9$	無被害	小破	大破
$0.3 \leq S-I_{sf} < 0.6$	小破	大破	大破
$S-I_{sf} < 0.3$	大破	大破	大破

(4) 簡易診断手法と指針案による診断手法との比較

最適化したパラメータを用いた簡易診断手法と、指針案による1次診断手法を比較し、精度の確認を行った。

第3図に両者の相関を示す。両者の相関係数（1に近い値ほど相関が高い）は0.844であり、高い相関が確認された。第3図には $y=x$ の線を引いており、この線より下に凡例がプロットされると簡易診断手法の値が過大評価していることになる。第3図には1次診断値0.8の補助線を引いているが、指針案では0.8未満の場合に、より詳細検討する2次診断を行うことが示されているため、簡易診断手法は十分に高い精度を有することが確認された。



第3図 簡易診断手法と指針案による1次診断手法の相関

4 今後の展開

本研究では、建物基礎の地震被害予測手法を開発し、3.11地震による建物被害データを用いて基礎の耐震性能評価の精度向上を行った。

今後は、広域分布する多数の当社建物に対し本手法を適用することで、南海トラフ巨大地震等に対する被害予測を実施し、BCP設備計画や耐震補強検討等に活用していくことが期待される。



執筆者/海野元伸