

平成25年度建築基準整備促進事業

基礎ぐいの地震に対する
安全対策の検討

検討結果報告

平成26年4月10日

事業者：国立大学法人千葉大学
戸田建設株式会社
株式会社東京ソイルリサーチ

共同研究者：独立行政法人建築研究所

背景（平成24年度の調査）

- 概要

- 東北地方太平洋沖地震により、建築物の基礎ぐいに少なからぬ被害が発生した。
- 被害の概要を把握し、被害要因の推定および今後の課題の抽出を行った。

- 調査結果と課題

- 地下室のない、主としてPCぐいにより支持された建物で被害が多く見られた。
- 軟弱地盤もしくは複雑な構造の地盤であった。
- さらなる事例収集、詳細な被害分析、くい体の強度と変形性能に関する情報の必要性が明らかとなった。

調査目的

- 平成25年度は、東北地方太平洋沖地震による基礎ぐいの被害について詳細な調査を続行するとともに、外力を受けた時のくい体の挙動を把握し、被害要因を詳細に検討することを目的とする。
 - － 建築物被害の情報収集
 - 被害事例、地盤情報、地震動
 - － 基礎構造部材の強度特性・変形性能の把握
 - データ収集、載荷実験
 - － 被害要因の詳細検討

調査内容①

I. 建築物被害の情報収集

	調査項目	検討内容	検討目的
1	建築物被害の情報収集	被害調査（現地調査・資料収集） 被害調査シートの作成	くい体の被害状況の把握
2	地盤情報に関する調査	地盤調査（PS検層他）	地震応答解析・静的応力解析のための地盤情報の取得
3	地震動に関する観測	余震観測・常時微動観測	東日本大震災における地震動の推定のための振動特性の把握
4	東日本大震災における地震動の推定	①地震応答解析 ②FEM解析（不整形地盤）	静的応力解析のためのベースシア係数・地盤応答変位の算出

調査内容②

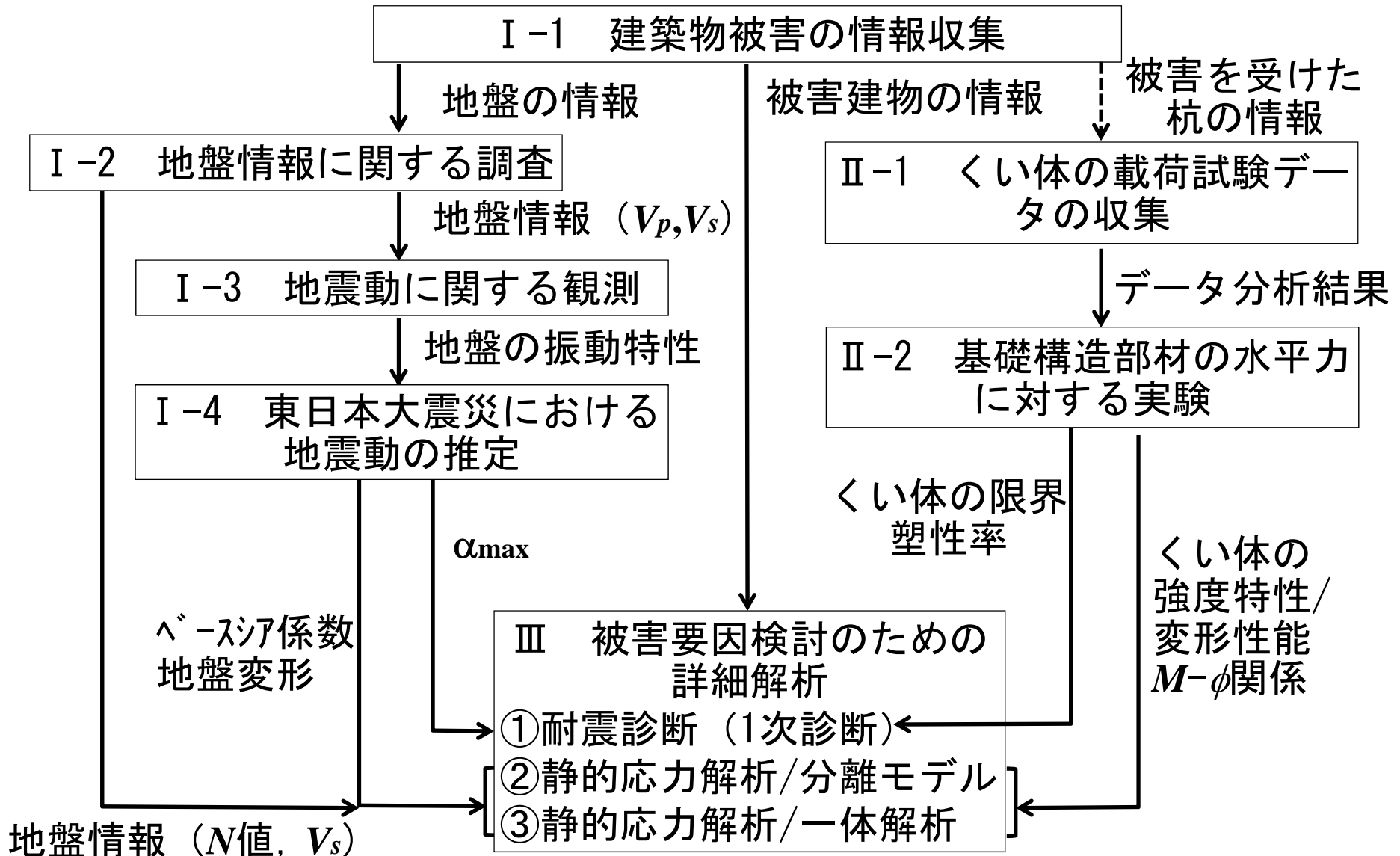
Ⅱ. 基礎構造部材の水平力に対する挙動と変形性能の把握

	調査項目	検討内容	検討目的
1	くい体の載荷試験データの収集	資料収集・整理・分析	くい体の強度特性・変形性能の把握
2	基礎構造部材の水平力に対する実験	①くい体の曲げ実験 ②基礎構造部材の水平載荷実験	くい体（既製コンクリートぐい）の強度特性・変形性能の把握

Ⅲ. 被害要因の検討

	調査項目	検討内容	検討目的
1	被害要因検討のための詳細解析	①耐震診断（1次診断） ②静的応力解析/分離モデル ③静的応力解析/一体解析	くい体に加わる外力と被害状況関係の把握

調査内容③



I . 建築物被害の情報収集

1)被害調査

調査対象数

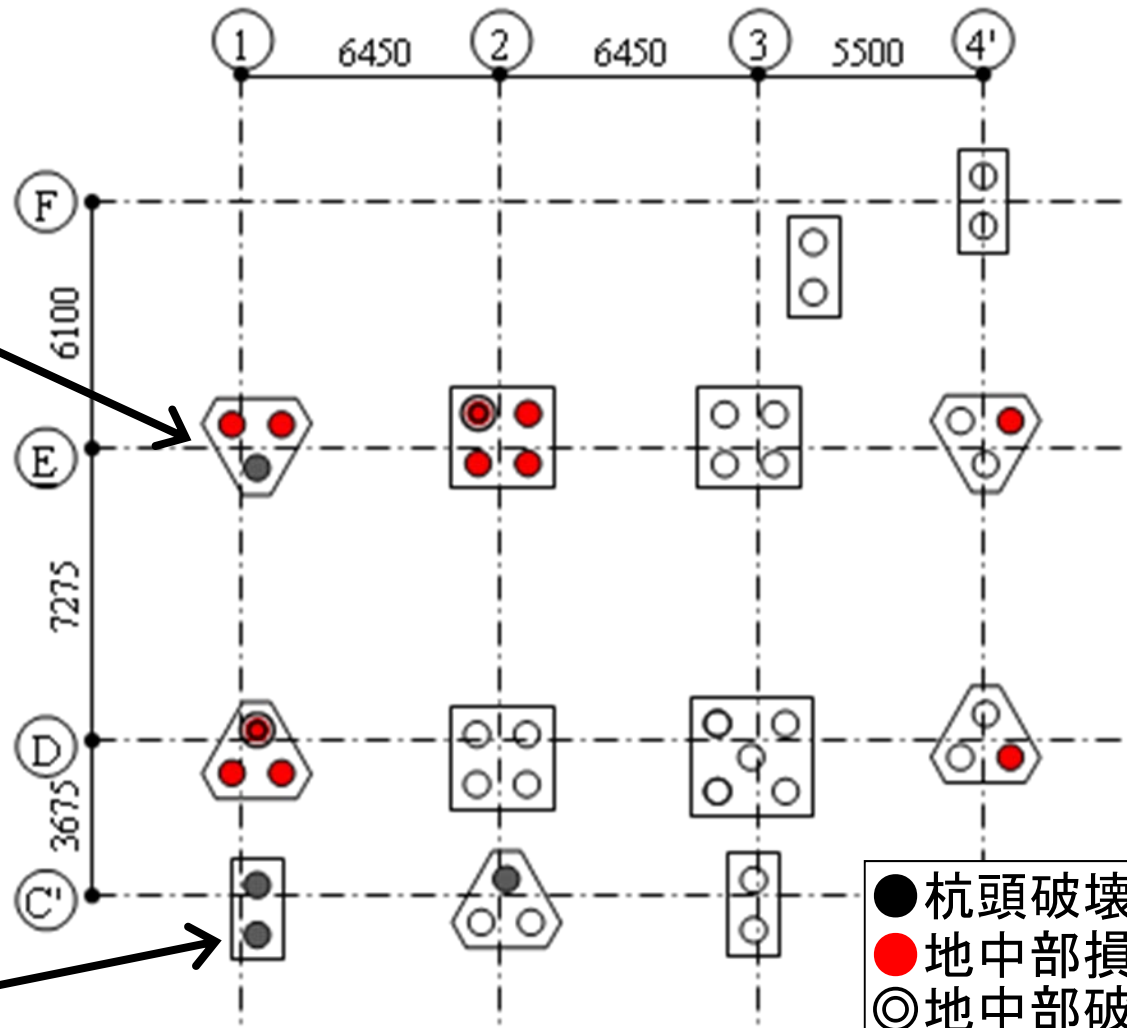
	調査対象数	基礎ぐい被害あり	詳細調査対象
24年度	57	36	18
25年度	4	4	4

25年度に詳細調査を実施した建築物

No.	所在地	規模	建設	杭種	被害概要(計測最大値)
58	福島県 郡山市	SRC 8/0	1989	PHC杭φ500 (C種+A種)	沈下77mm,傾斜1/310 杭頭破損
14	千葉県 市原市	WRC 5/0	1981	PC杭φ350	杭頭破損・地中部破損無 上部構造の被害なし
6	宮城県 仙台市	RC4/0 耐震補強	1982 1983	PC杭(A種)φ350 PC杭(B種)φ400	不同沈下135-366mm傾斜1/200 エキスパンション部破損 杭頭破損確認できず
29	宮城県 仙台市	RC3/0	1981	PC杭(A種)φ350	傾斜5-8/1000・沈下60mm エキスパンション部破損 杭頭破損あり

基礎ぐいの被害調査(No.58)

建物傾斜量 ←1/224・↑1/653



- 杭頭破壊
- 地中部損傷
- ◎地中部破断

Ⅱ. 基礎構造部材の水平力に対する挙動と変形性能の把握

1) くい体の載荷試験データの収集

データ数：既製コンクリートぐい（実験データ→シート）

	PHC杭	CPRC杭	SC杭	PC杭	計
曲げ試験	36(7)	84(8)	56(28)	25	201
せん断試験	18	72	—	—	90

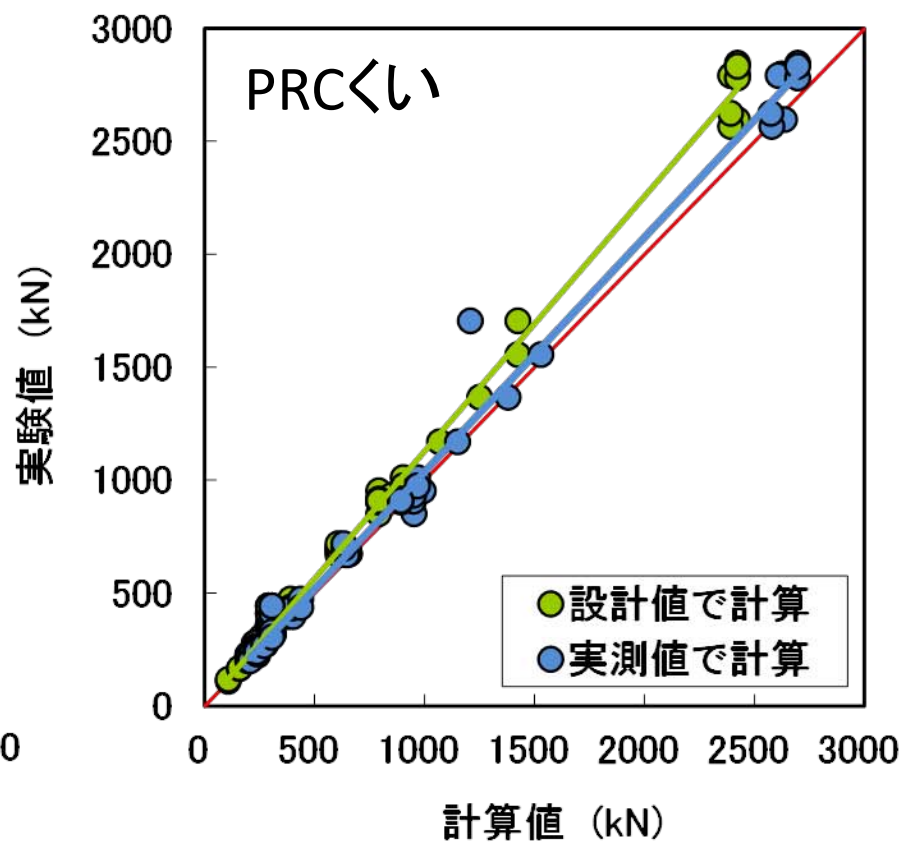
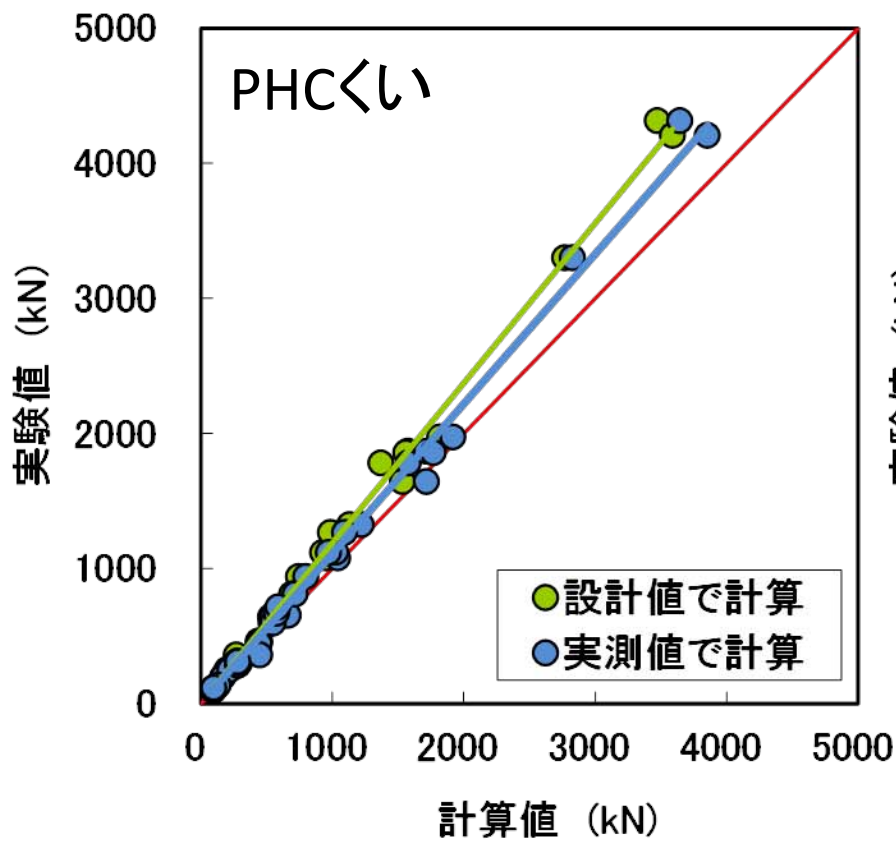
既製コンクリートぐい（文献データ）：260+528（統計データ）

場所打ちコンクリートぐい（文献データ）：12

場所打ち鋼管コンクリートぐい（文献データ）：6

鋼管ぐい（文献データ）：8

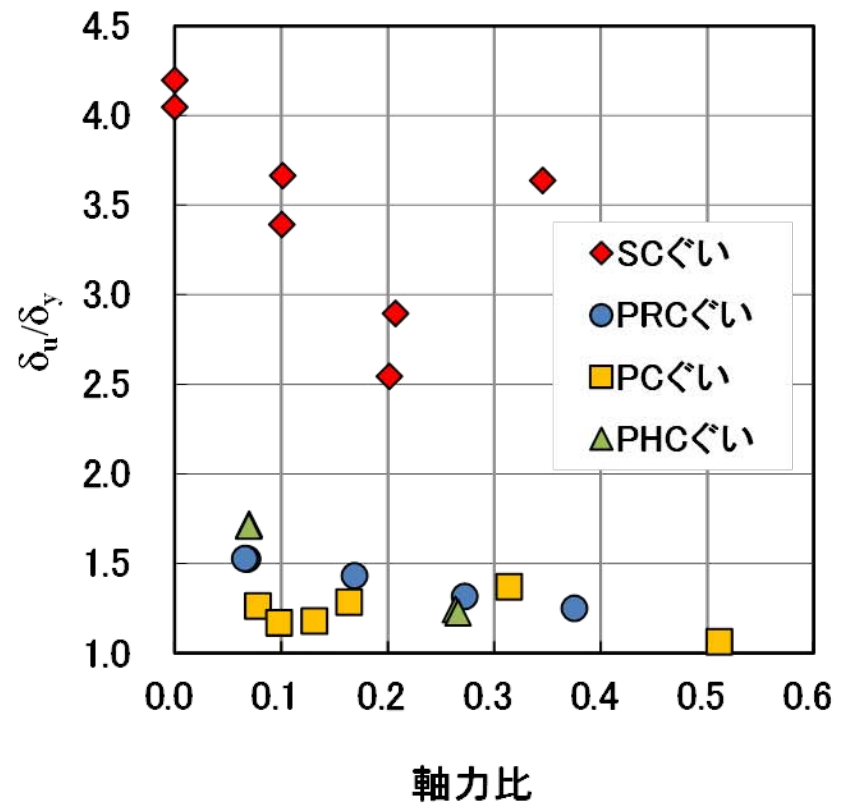
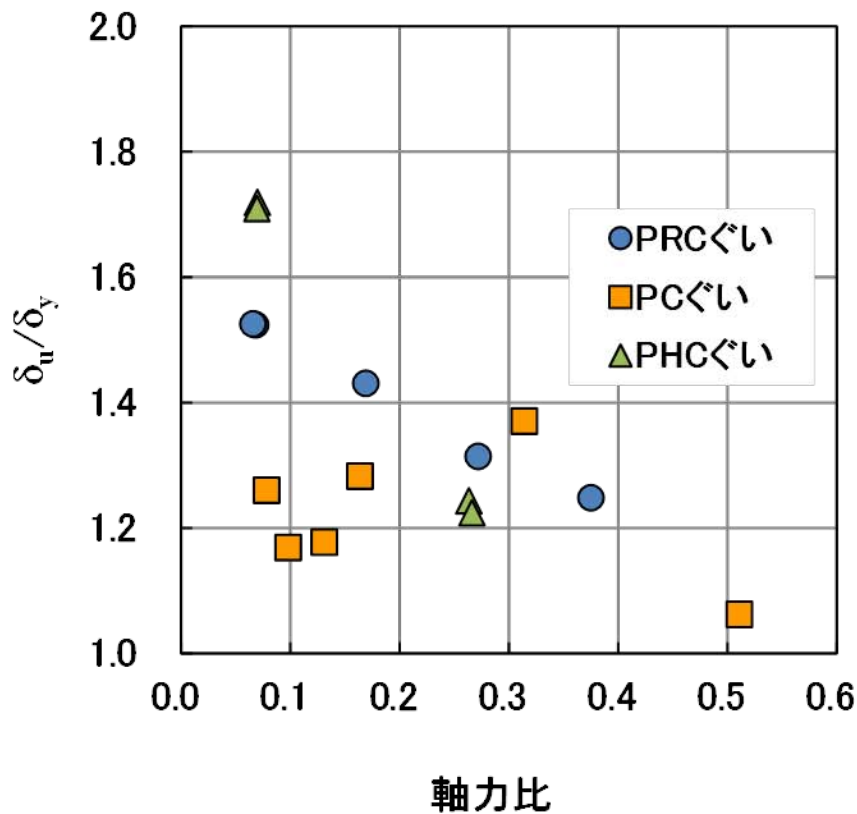
強度特性の整理・分析(既製コンクリートぐい) ／破壊時モーメント M_u の実験値と断面解析 による計算値との比較



計算による M_u :コンクリート圧縮ひずみ0.25%時

同:0.35%時

変形特性の整理・分析(既製コンクリートぐい) ／軸力比と塑性率(δ_u/δ_y)の関係

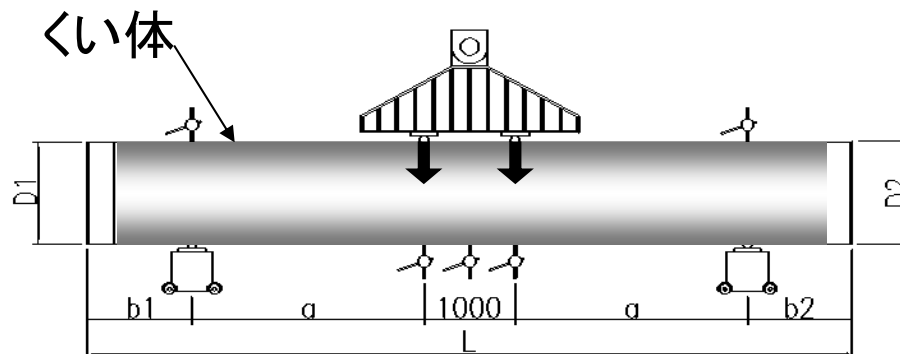


(δ_u :ぐい体破壊時の変位, δ_y :ぐい体降伏時(弾性限)の変位)

2)基礎構造部材の水平力に対する挙動と変形性能の把握のための構造実験

①くい体の基本性能把握のための単純曲げ実験

No.	杭種	杭径	杭長	導入軸力	軸力比	載荷方式
1	PHC(C)	600mm	8.0m	1150 kN	0.14	軸力曲げ
2	PHC(C)	600	8.0	4570	0.32	軸力曲げ
3	PRC(Ⅳ種)	600	8.0	0	0.05	曲げ*
4	PRC(Ⅳ種)	600	8.0	4960	0.28	軸力曲げ*



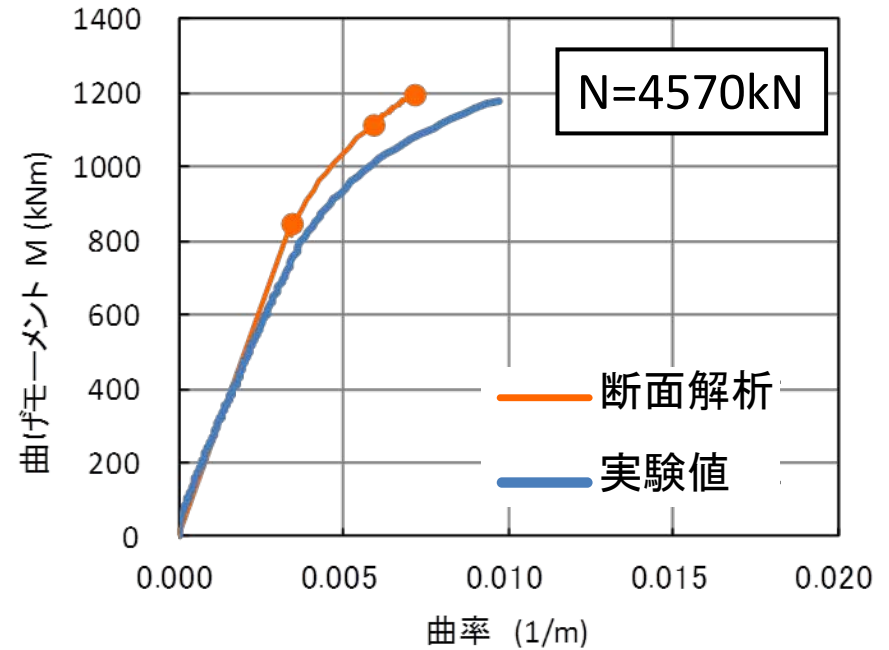
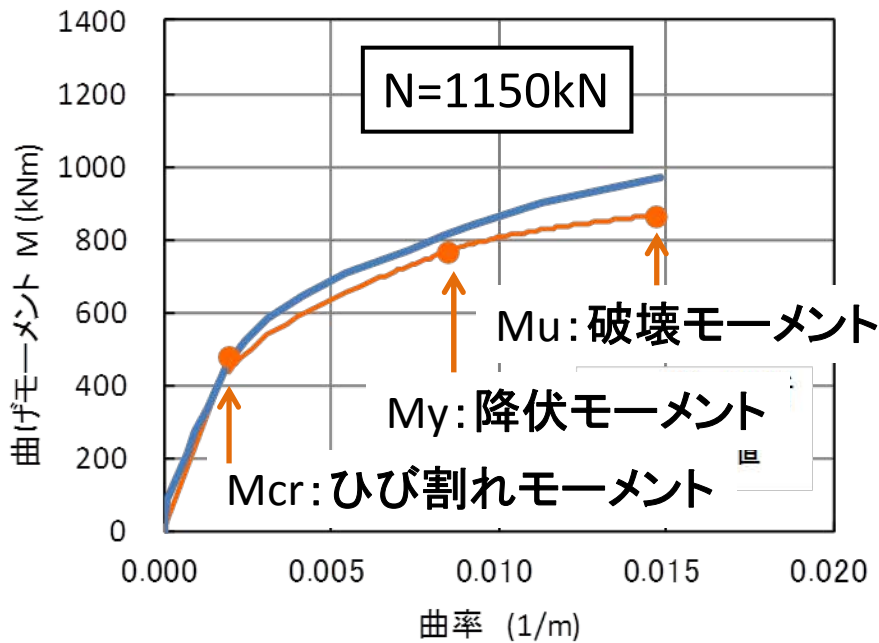


→PC鋼棒にひずみゲージ
を直接貼付して測定

実施状況

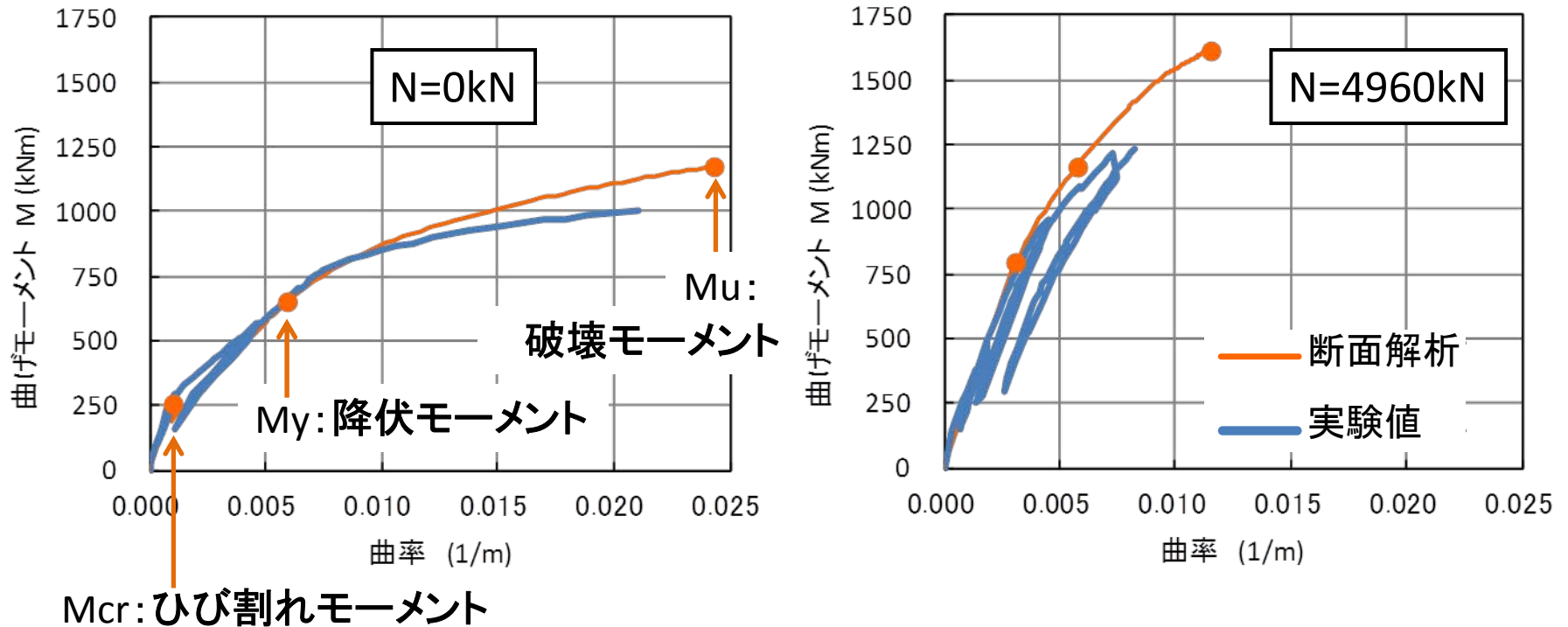


試験結果① PHC杭のM- ϕ 関係



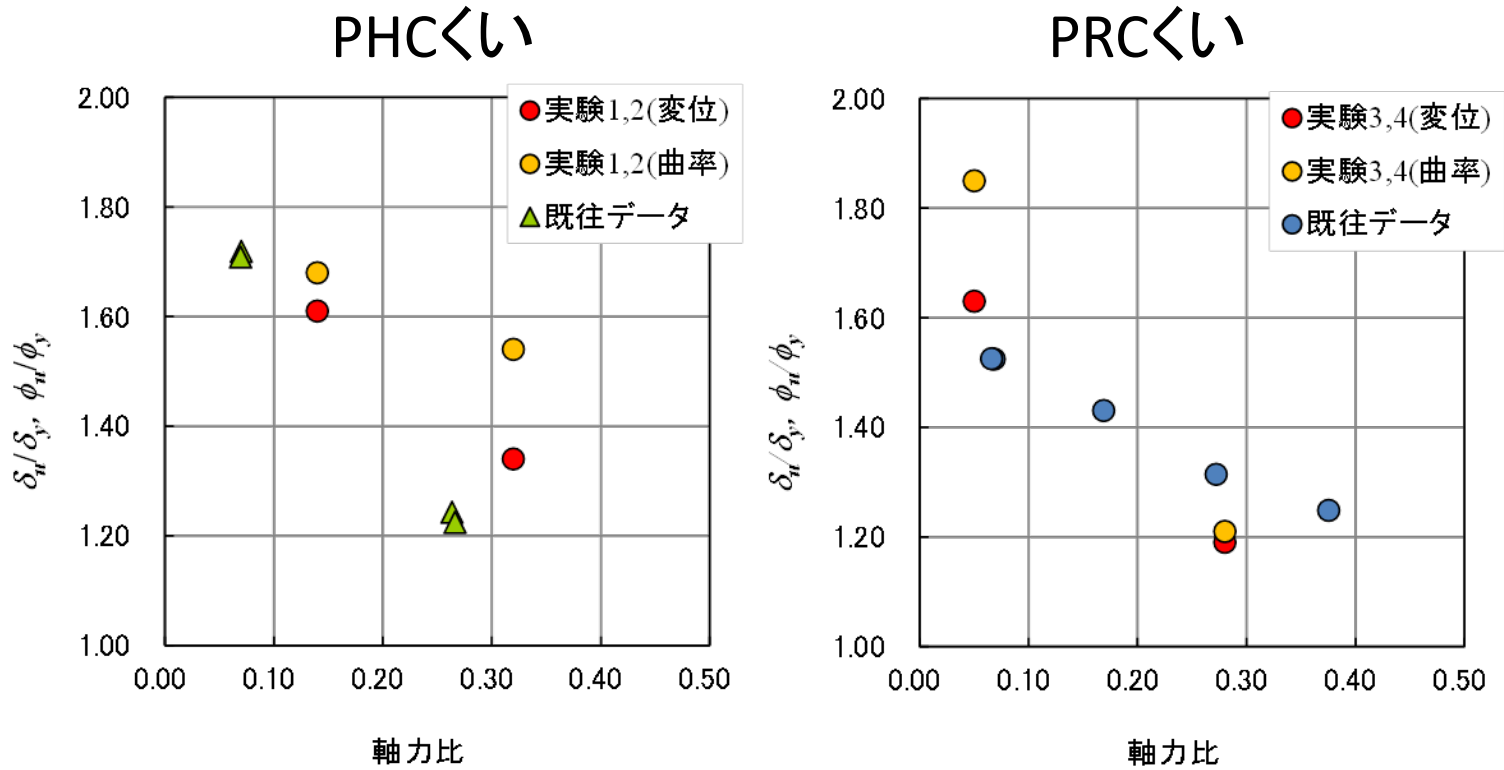
→平面保持を仮定した断面解析とほぼ対応する
強度特性・変形性能が得られている

試験結果② PRC杭のM- ϕ 関係



→平面保持を仮定した断面解析とやや差がある
(特に軸力が大きい場合)

試験結果③ 軸力比と塑性率(δ_u/δ_y)の関係

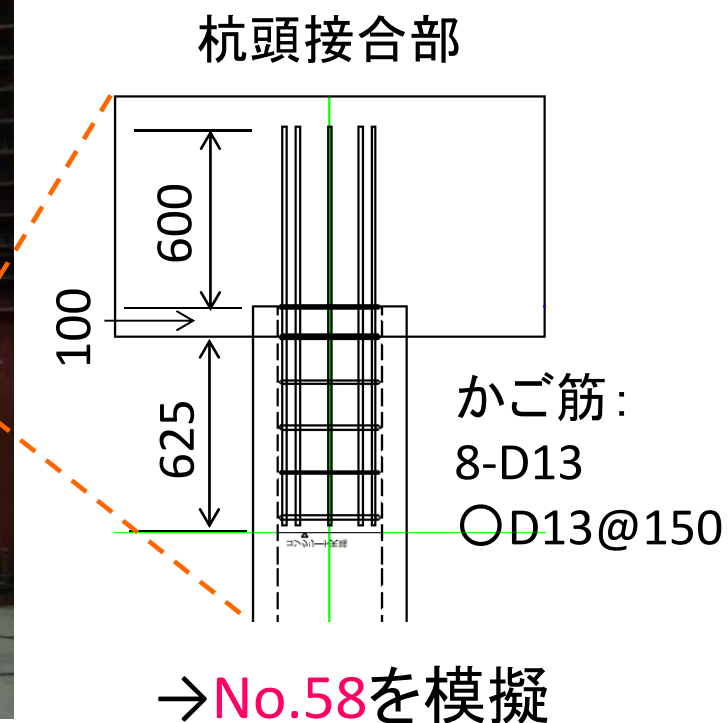
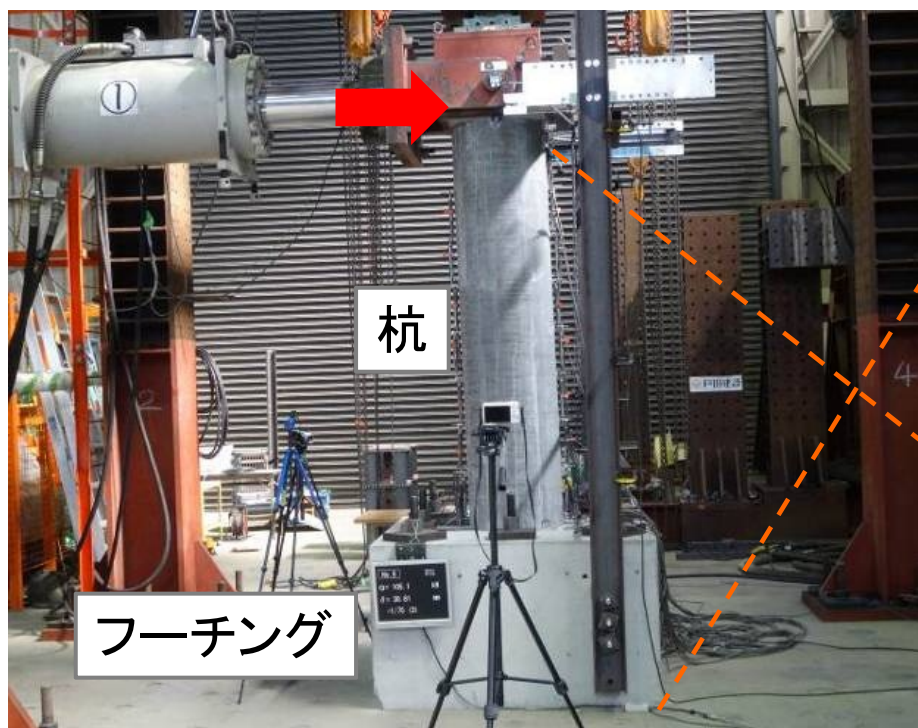


(δ_u : 小さい体破壊時の変位, δ_y : 小さい体降伏時(弾性限)の変位)

→ 実験により確認された変形性能は、既往のデータと整合する

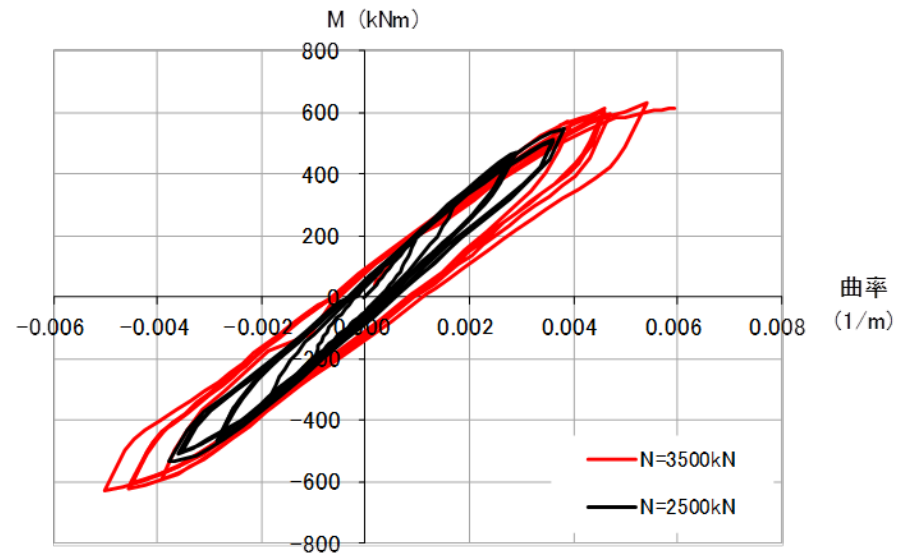
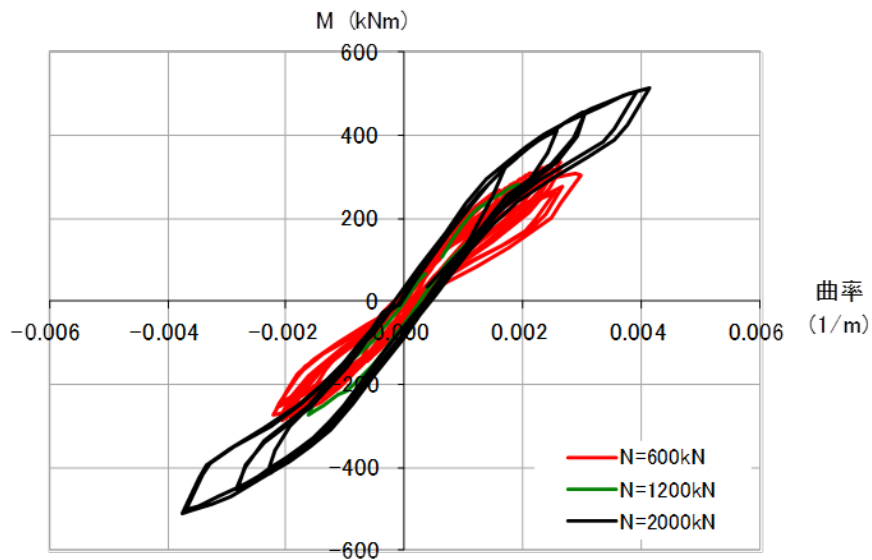
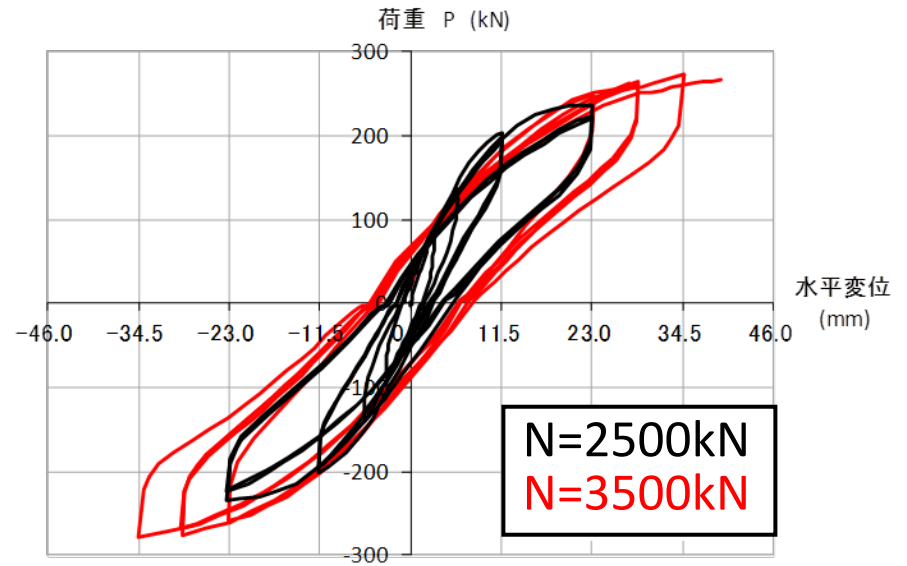
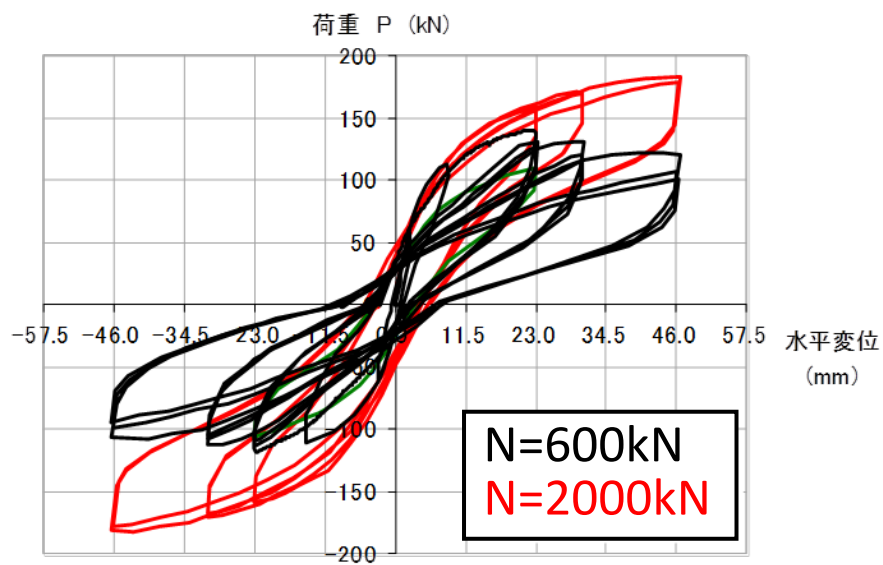
②フーチングを含む基礎構造部材の性能把握と被害再現のための実験

No.	杭種	杭径	杭長	軸力	軸力比
5	PHC(C種)	500mm	2.50m	600~2000kN	0.14~0.26
6	PHC(C種)	500	2.50	2500, 3500	0.30~0.39

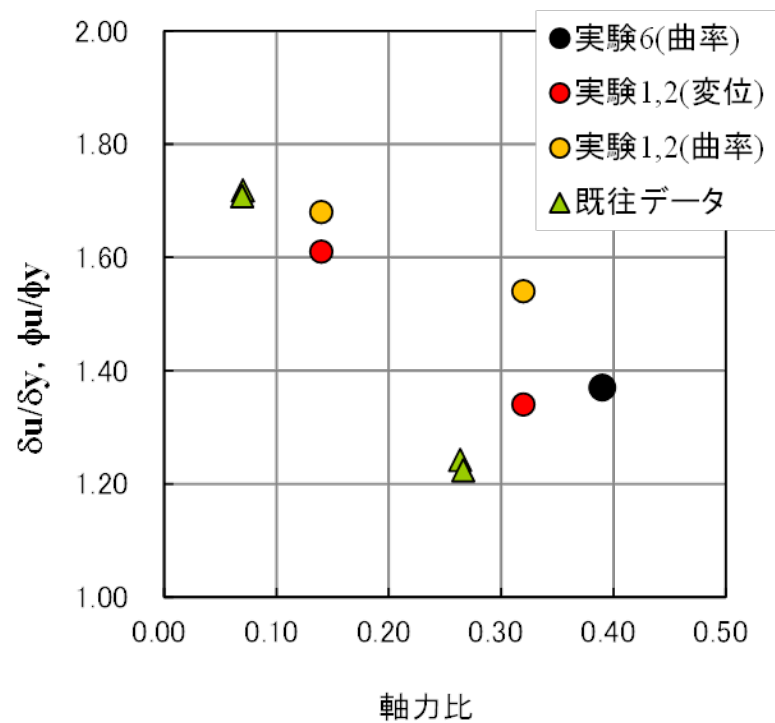


載荷状況





→軸力に応じた荷重-変位(M- ϕ)関係を把握



→くい体の変形性能を確認

→高軸力での杭頭破壊確認

Ⅲ. 建築物被害の詳細解析

詳細解析の主な対象

	No.58(郡山市)	No.14(相馬市)	No.6(船橋市)
基礎ぐい (建設年)	PHC杭C種 (1989)	PHC杭B種 (1983)	PC杭 (1973)
基礎ぐいの 被害概要	沈下側杭頭大破 (4/40本)+地中部 破損(11/40本)	約1/3の範囲で 杭頭大破	約1/4の範囲 杭頭大破または 地中部破損
被害調査	25年度	24年度	24年度
追加調査	地盤調査 余震観測	地盤調査 余震観測	地盤調査 余震観測
解析方法	耐震診断 分離モデル 一体モデル	耐震診断 分離モデル	耐震診断 分離モデル

1)東日本大震災の地震動の推定および地盤特性把握のための調査

No.58(郡山市)	No.14(相馬市)	No.6(船橋市)	No.29(会津若松市)
常時微動 余震観測 地盤調査 PS検層 ラムサウンディング	常時微動 余震観測 地盤調査 PS検層・ ラムサウンディング	常時微動 余震観測 地盤調査 PS検層 CPT	常時微動

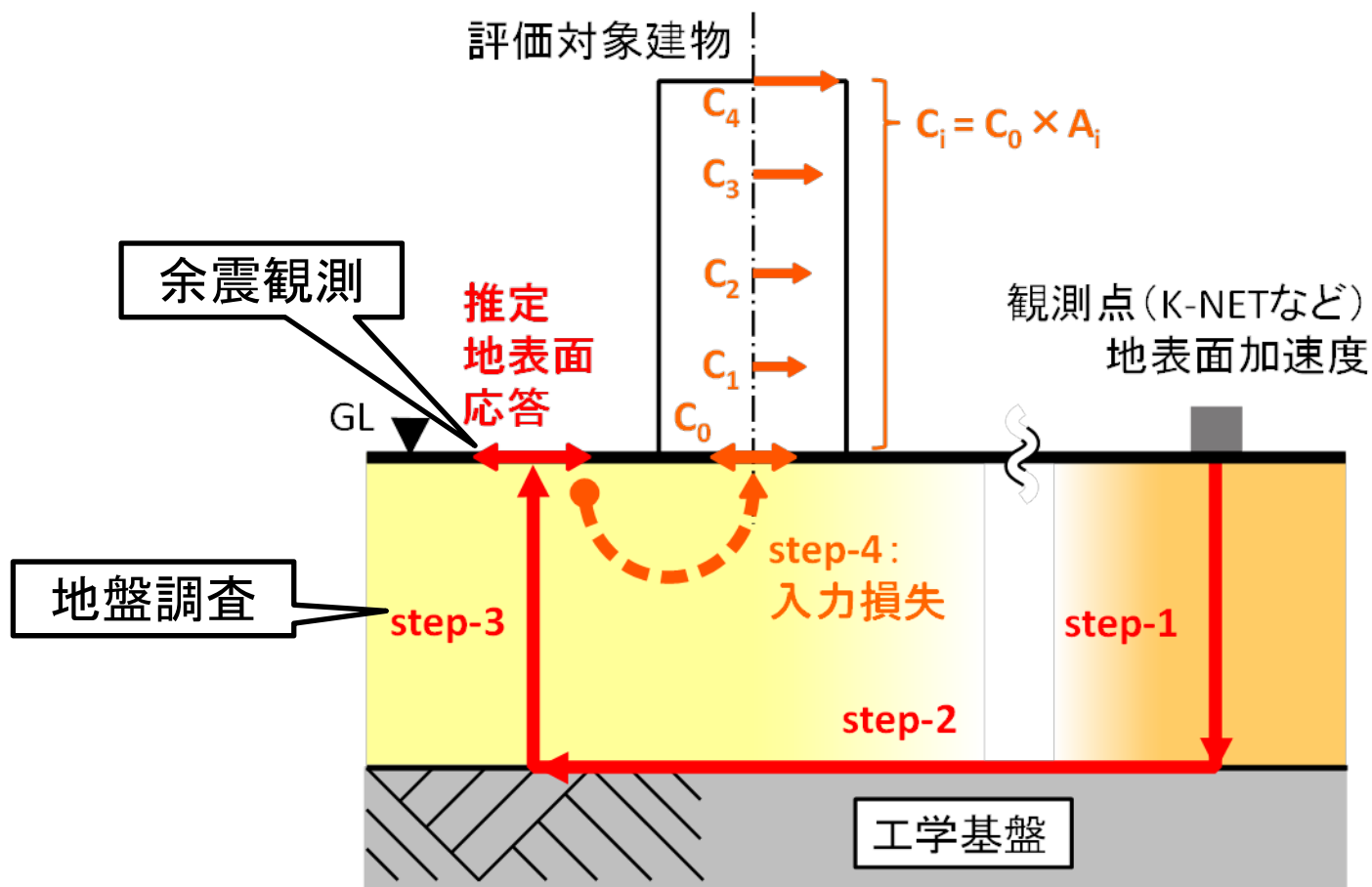


地盤調査状況

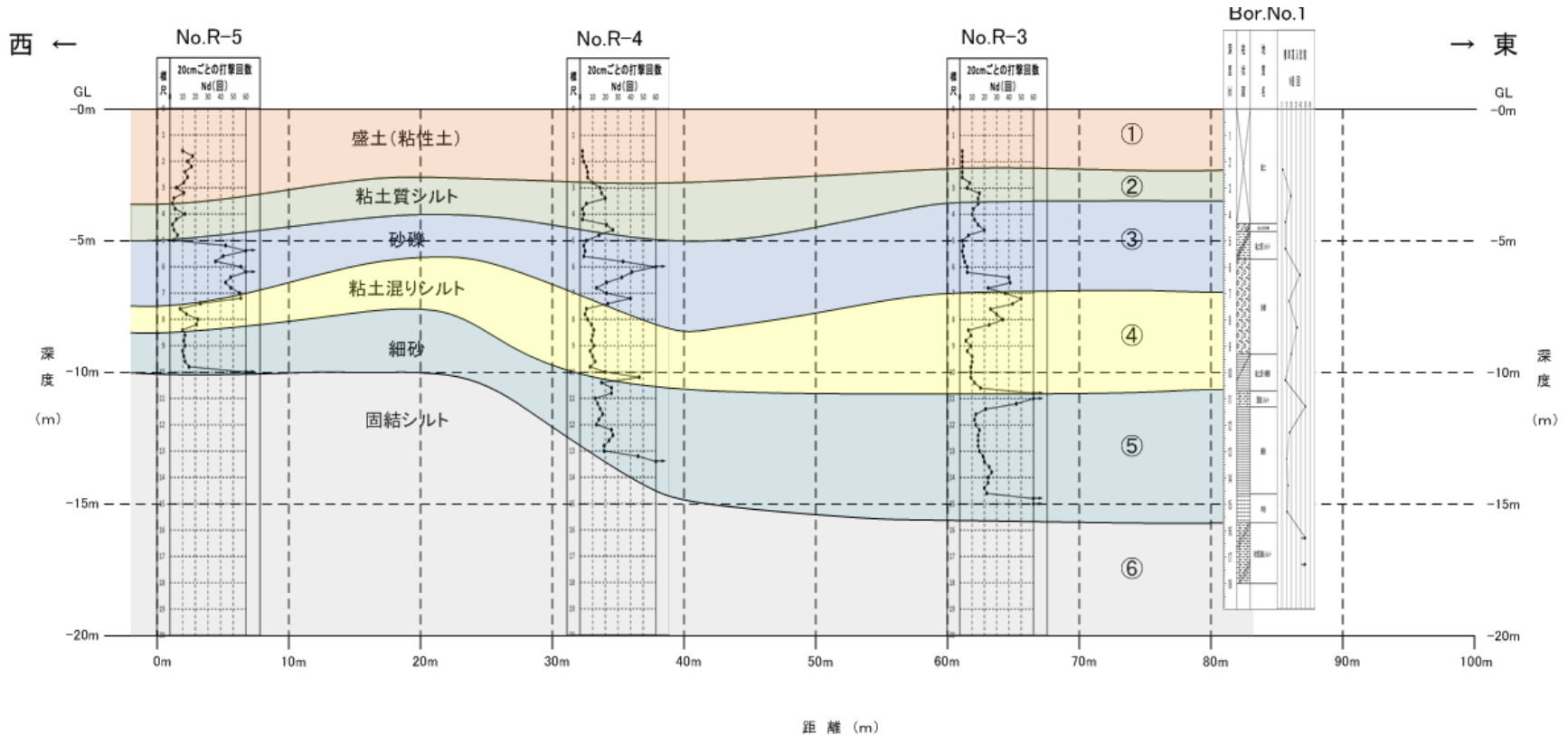


余震観測状況

①東日本大震災の地震動の推定の考え方

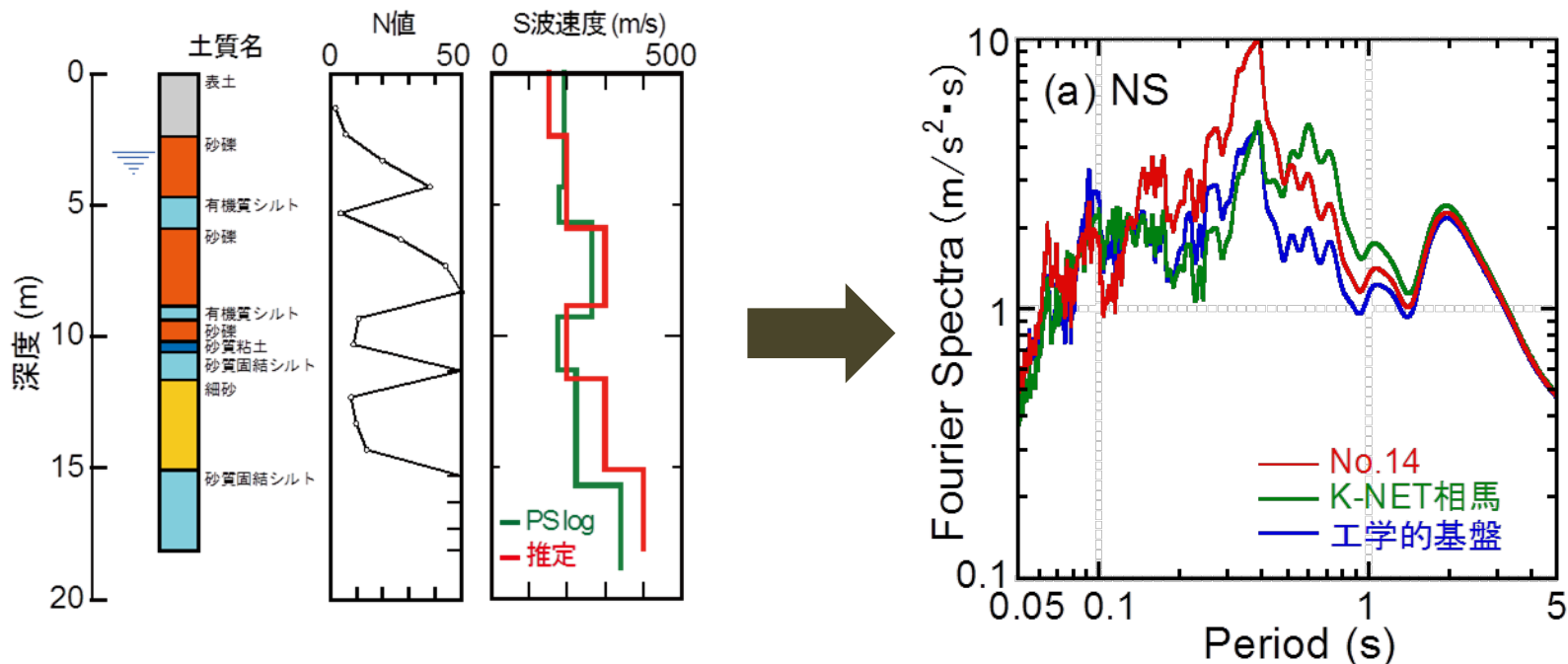


②地盤調査結果の例(No.14)



→敷地全体の地層分布を把握・PS検層によりVs値を把握

③東日本大震災の地震動の推定例(No.14)

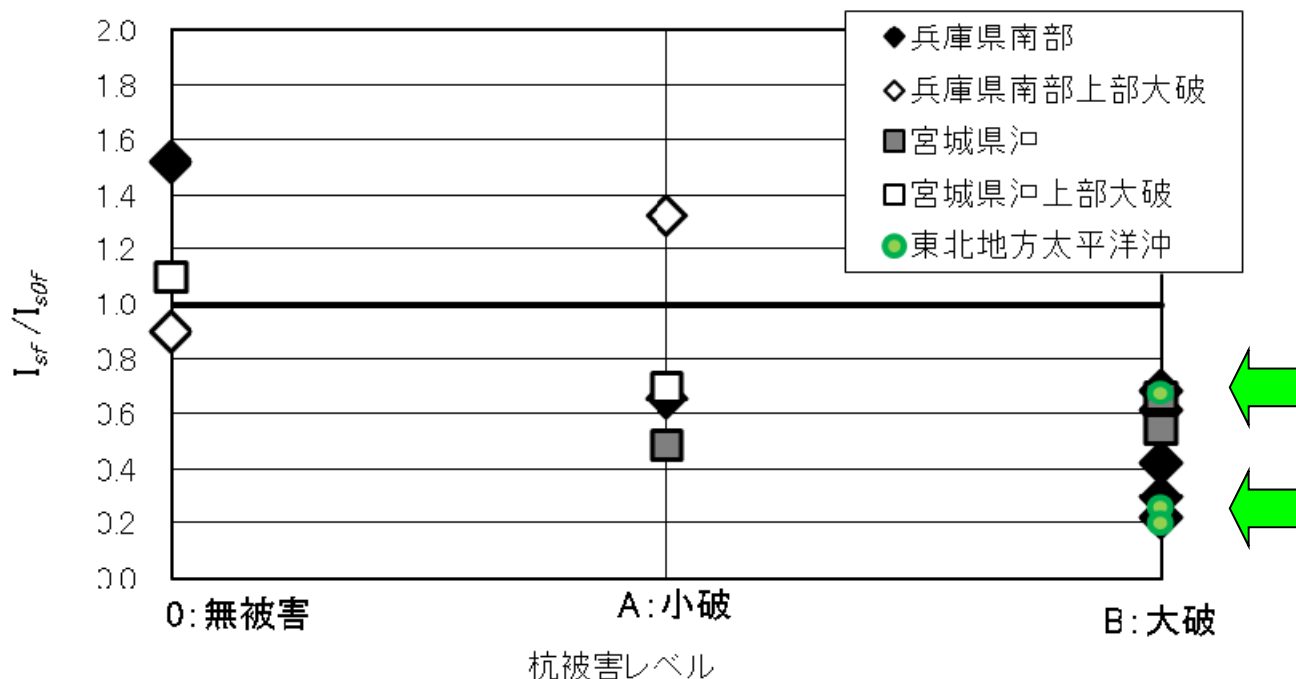


東日本大震災の地震動の推定結果

	No.58 (郡山市)		No.14 (相馬市)		No.6 (船橋市)		No.29 (会津若松市)	
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
地表面最大加速度	1097	721	617.2	785.7	165.3	169.2	421.1	452.1
地表面最大速度	49.96	56.44	40.43	58.00	29.29	22.77	48.79	41.09
ベースシア係数	0.54	0.41	0.43	0.56	0.15	0.16	0.38	0.38
地盤変位最大値	4.58	4.97	1.55	2.33	4.00	4.06	7.11	6.32

2)基礎構造の耐震診断(1次診断*)結果

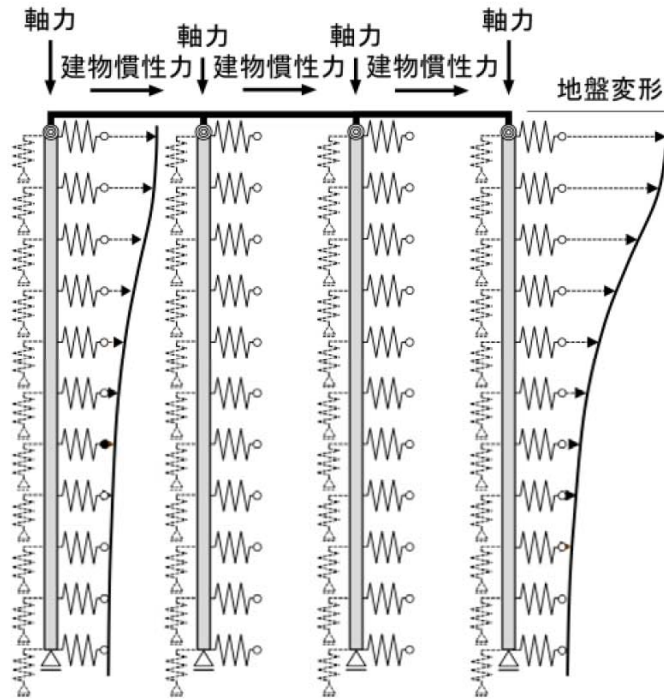
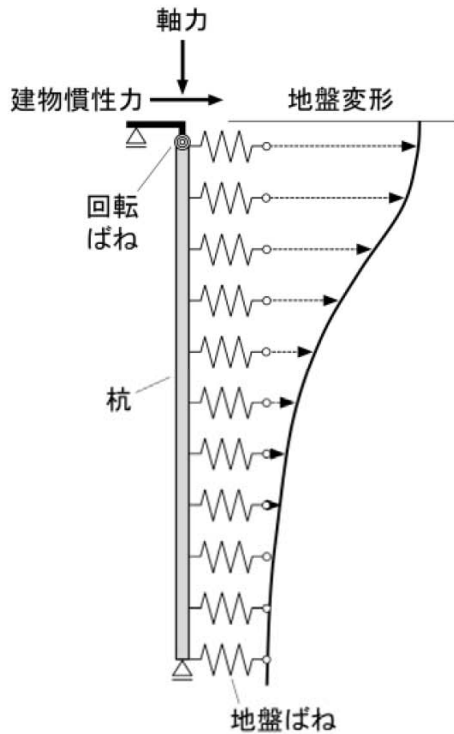
* ベターリビング「基礎構造の耐震診断指針(案)」による



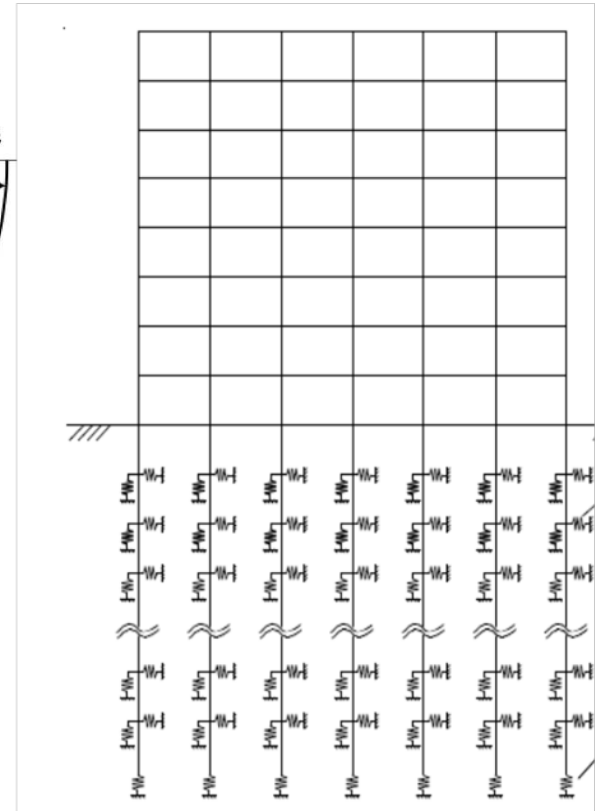
→被害のあった基礎ぐいの耐震性の不足を確認

3)被害要因の検討のための詳細解析

①詳細解析モデル



分離モデル



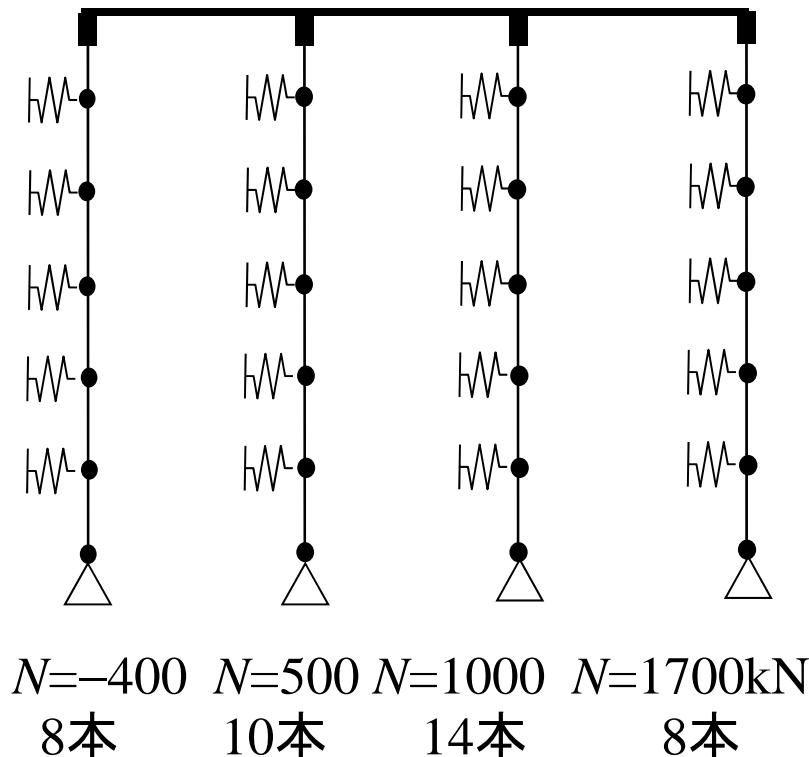
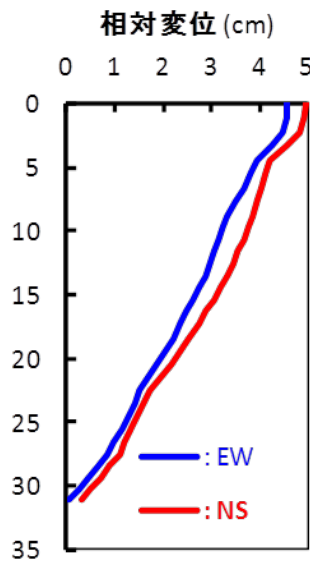
一体モデル

② 詳細解析方法(No.58の例:分離モデル)

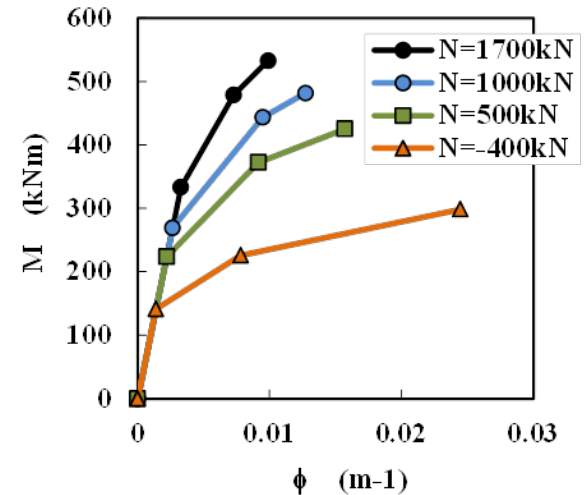
東日本大震災の入力を推定

地盤変位

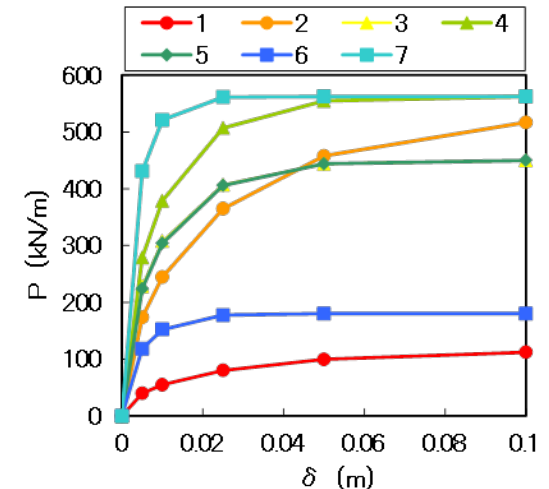
慣性力



変動軸力でグルーピング

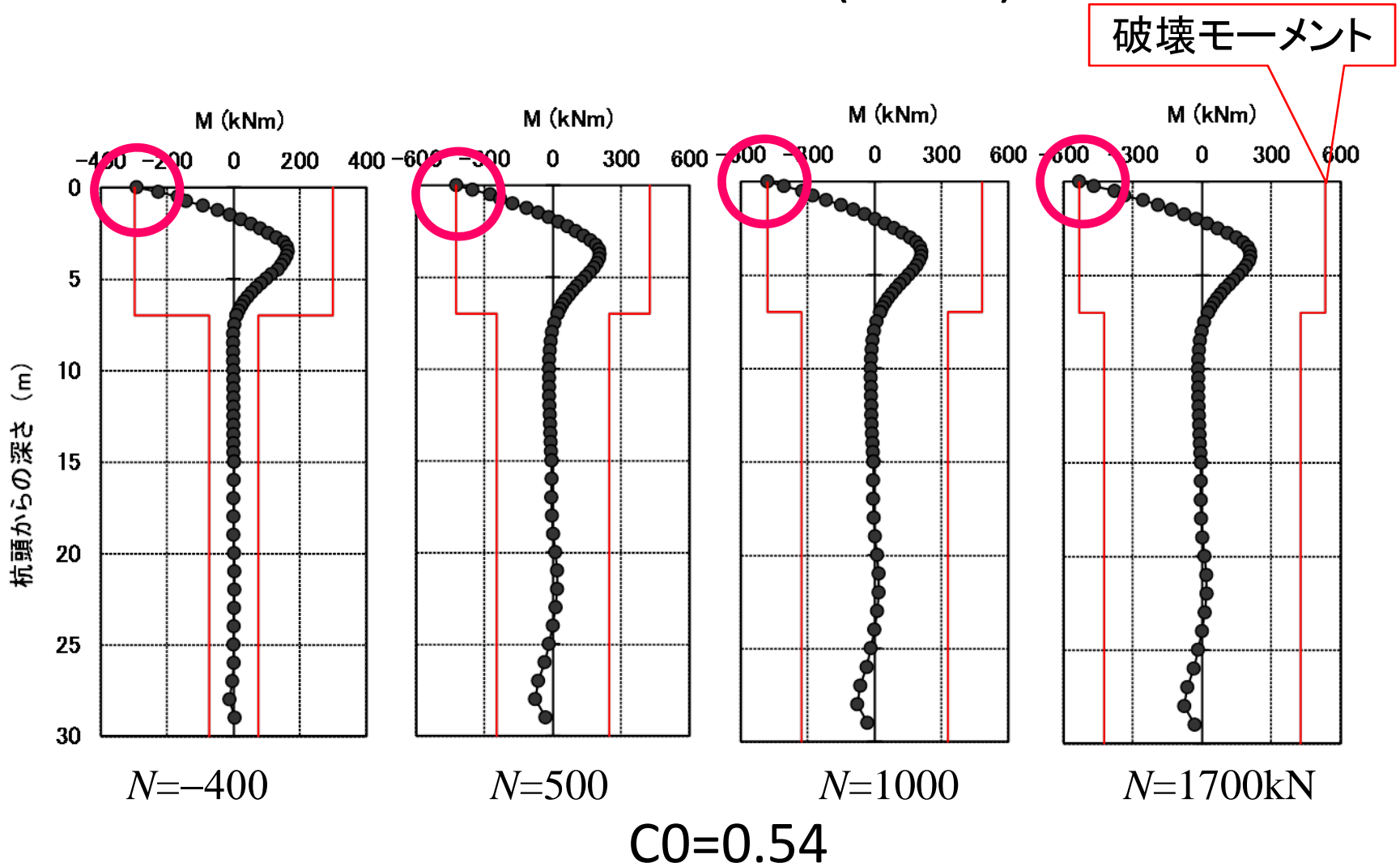


くい体のモデル化



地盤ばねのモデル化

③ 詳細解析結果例(No.58)



④ 詳細解析結果のまとめ

		No.58	No.14	No.6
外力	地表面最大加速度 (cm/s^2)	EW/NS 1098/721	EW/NS 617/786	EW/NS 165/169
	推定ベースシア係数	0.54/0.41	0.43/0.56	0.15/0.16
分離 モデル	短期許容時の ベースシア係数	0.14-0.29	0.11-0.18	0.07-0.13
	降伏(弾性限)時	0.36-0.49	0.18-0.29	0.16-0.24
	破壊モーメント時	0.54	0.30-0.33	0.23-0.25
一体	上部構造保有耐力	0.49/0.97	—	—
1次診断: Isf/Isf		0.29	0.20	0.68

→推定した地震動による解析結果は、No.58・No.14では被害を過大評価、No.6では過小評価である。
 入力損失や応力集中の可能性などの適切な評価が必要。

まとめ (1)

- 建築物被害の情報収集
 - 新たな被害事例4件を追加
 - 詳細検討のための地盤調査・余震観測・常時微動観測を行い、本震時の地震動を推定
- 載荷実験により基礎構造部材の強度・変形性能を把握
 - くい体の曲げ試験結果は、断面保持を仮定した解析である程度追跡可能である
 - 低軸力下ではくい頭接合部の挙動がクリティカルになる場合があり得る

まとめ (2)

- 被害要因の詳細検討
 - 基礎構造の耐震診断法の有効性が確認できた
 - 地盤調査結果・推定地震動・詳細解析モデルを用いた検討により、ある程度被害状況を説明できるものの、入力損失効果や負担せん断力の適切な評価が重要であることが分かった

今後の課題

- 詳細検討で考慮できなかった条件（入力損失や負担せん断力等）の考慮による解析の高度化
- 詳細検討事例数の増加
- くい体の強度特性・変形特性の評価手法の確立
- 杭頭接合部の強度特性・変形特性の評価手法の確立