

国土技術政策総合研究所 研究報告
建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発

目次

第Ⅰ編 研究開発の概要

第1章	研究開発の経緯と目的	I－1
1.1	研究開発の経緯	I－1
1.2	研究開発の目的	I－2
第2章	研究開発の内容	I－11
2.1	既存杭を含む敷地の安全かつ合理的な利用法の開発	I－11
2.2	既存宅地擁壁の耐震診断および耐震補強手法の構築	I－12
2.3	基礎地盤の新技术への対応を含めた合理的な構造規定の構築	I－13
第3章	研究開発の実施体制	I－14
3.1	研究開発検討委員会の設置	I－14
3.2	研究担当者	I－20
第4章	研究成果と活用	I－21
4.1	成果（アウトプット）	I－21
4.2	社会に与える効果（アウトカム）	I－21
4.3	発表論文等	I－21

第Ⅱ編 既存杭分野

第1章	目的及び概要	Ⅱ－1－1
1.1	調査の概要	Ⅱ－1－1
1.2	検討の概要（報告書の構成）	Ⅱ－1－1
1.3	検討の実施体制	Ⅱ－1－2
第2章	既存杭を含む敷地における載荷試験、調査及び再現解析（茨城県稲敷郡河内町）	Ⅱ－2－1
2.1	載荷試験の概要	Ⅱ－2－1
2.2	撤去対象杭の引抜き及び地盤の埋戻し	Ⅱ－2－6

2.2.1	撤去対象杭の仕様	Ⅱ－2－6
2.2.2	撤去・埋戻し方法	Ⅱ－2－7
2.2.3	施工管理項目および施工管理結果	Ⅱ－2－8
2.2.4	撤去埋戻し後の地盤調査結果	Ⅱ－2－10
2.3	試験杭の校正試験	Ⅱ－2－15
2.3.1	上杭の試験（曲げ試験）	Ⅱ－2－15
2.3.2	下杭の試験（圧縮試験）	Ⅱ－2－28
2.4	試験杭の施工	Ⅱ－2－35
2.4.1	試験杭・反力杭の仕様	Ⅱ－2－35
2.4.2	施工エリアと機材・機械の配置	Ⅱ－2－35
2.4.3	杭の施工概要と手順	Ⅱ－2－36
2.4.4	施工管理項目および施工管理結果	Ⅱ－2－37
2.4.5	セメントミルク圧縮試験結果	Ⅱ－2－45
2.5	試験杭の鉛直載荷試験	Ⅱ－2－46
2.5.1	試験の概要	Ⅱ－2－46
2.5.2	試験最大荷重の算定	Ⅱ－2－47
2.5.3	載荷装置とクッション材の検討	Ⅱ－2－48
2.5.4	載荷装置	Ⅱ－2－50
2.5.5	重錘落下サイクル	Ⅱ－2－51
2.5.6	急速載荷試験方法の作業手順	Ⅱ－2－52
2.5.7	解析方法	Ⅱ－2－54
2.5.8	軸力・周面抵抗力度の算定方法	Ⅱ－2－57
2.5.9	試験結果（試験杭 1）	Ⅱ－2－58
2.5.10	相対載荷時間	Ⅱ－2－67
2.5.11	解析結果	Ⅱ－2－68
2.5.12	試験結果（試験杭 2）	Ⅱ－2－75
2.5.13	相対載荷時間	Ⅱ－2－83
2.5.14	解析結果	Ⅱ－2－84
2.5.15	試験結果のまとめ	Ⅱ－2－91
2.5.16	（付録）波形マッチング解析による検討	Ⅱ－2－92
2.6	試験杭の水平載荷試験	Ⅱ－2－101
2.6.1	試験の概要	Ⅱ－2－101
2.6.2	試験最大荷重の算定	Ⅱ－2－102
2.6.3	載荷装置	Ⅱ－2－103
2.6.4	試験方法	Ⅱ－2－106
2.6.5	解析方法	Ⅱ－2－109
2.6.6	試験結果（試験杭 1）	Ⅱ－2－115
2.6.7	試験結果（試験杭 2）	Ⅱ－2－130
2.6.8	考察	Ⅱ－2－145
2.6.9	試験結果のまとめ	Ⅱ－2－148

2.7	杭撤去前後の経年調査	Ⅱ－2－152
2.7.1	経年調査の概要	Ⅱ－2－152
2.7.2	機械ボーリング	Ⅱ－2－154
2.7.3	標準貫入試験	Ⅱ－2－155
2.7.4	電気式静的コーン貫入試験	Ⅱ－2－155
2.8	調査結果	Ⅱ－2－157
2.8.1	ボーリング調査結果	Ⅱ－2－157
2.8.2	電気式コーン貫入試験結果	Ⅱ－2－165
2.8.3	経年変化に関する考察	Ⅱ－2－175
2.9	既存杭を撤去した敷地地盤物性評価のための解析の概要	Ⅱ－2－192
2.10	杭の載荷試験の再現解析	Ⅱ－2－194
2.10.1	試験の概要	Ⅱ－2－194
2.10.2	解析モデルの設定と解析条件	Ⅱ－2－203
2.11	水平載荷試験の再現解析結果	Ⅱ－2－226
2.12	鉛直載荷試験の再現解析結果	Ⅱ－2－229
2.13	水平載荷試験の再現解析（再検討）	Ⅱ－2－233
2.13.1	解析条件	Ⅱ－2－233
2.13.2	解析結果	Ⅱ－2－236
2.14	鉛直載荷試験の再現解析（再検討）	Ⅱ－2－241
2.14.1	杭と地盤間を密着条件とした場合	Ⅱ－2－241
2.14.2	杭と地盤間の摩擦を考慮した場合	Ⅱ－2－244
2.15	新設杭の位置と地盤の緩みの影響検討	Ⅱ－2－247
2.15.1	解析モデルの設定	Ⅱ－2－247
2.15.2	解析結果	Ⅱ－2－258
2.15.3	新設杭の位置と地盤の緩みの影響に関する分析	Ⅱ－2－262
2.15.4	影響分析のまとめ	Ⅱ－2－270
第3章	既存杭を含む敷地における調査（福岡市）	Ⅱ－3－1
3.1	敷地及び杭撤去工事の概要	Ⅱ－3－1
3.1.1	敷地	Ⅱ－3－1
3.1.2	撤去工事の対象	Ⅱ－3－2
3.2	既存杭撤去前後の敷地の性能（ゆるみ）に関する調査1 （経年：SPT／CPT など）	Ⅱ－3－5
3.2.1	調査手法	Ⅱ－3－5
3.2.2	試験結果	Ⅱ－3－44
3.2.3	杭撤去前後の地盤についての考察	Ⅱ－3－274
3.3	既存杭撤去前後の敷地の性能（ゆるみ）に関する調査2 （微動アレイ，PS 検層，表面波探査）	Ⅱ－3－289
3.3.1	調査手法	Ⅱ－3－289
3.3.2	試験結果	Ⅱ－3－313

3.3.3	杭撤去前後の地盤についての考察	Ⅱ－3－338
3.4	杭体の構造性能等に関する調査	Ⅱ－3－348
3.4.1	調査内容・調査方法	Ⅱ－3－348
3.4.2	結果	Ⅱ－3－360
第4章	既存杭を含む敷地における調査（茨城県猿島郡境町）	Ⅱ－4－1
4.1	調査の概要	Ⅱ－4－1
4.2	ボアホールレーダー探査による地中構造物の確認	Ⅱ－4－3
4.2.1	ボアホールレーダー探査	Ⅱ－4－3
4.2.2	測定作業	Ⅱ－4－4
4.2.3	基礎杭を対象とした調査事例	Ⅱ－4－5
4.2.4	調査結果	Ⅱ－4－6
4.3	まとめ	Ⅱ－4－13
4.4	(付録)無指向性ボアホールレーダーによるレーダープロファイル	Ⅱ－4－14
4.4.1	距離換算	Ⅱ－4－14
4.4.2	カラー変換	Ⅱ－4－14
4.4.3	波形のカラー化に基づくレーダープロファイル	Ⅱ－4－15
第5章	既存杭を含む敷地における建築物の応答に関する検討	Ⅱ－5－1
5.1	縮小模型を用いたせん断土槽実験	Ⅱ－5－1
5.1.1	杭周にゆるみを設けた実験	Ⅱ－5－1
5.1.2	水平剛性の異なる杭を用いた実験	Ⅱ－5－4
5.1.3	まとめ	Ⅱ－5－8
5.2	地下部分のねじれ挙動の影響に関する解析的検討	Ⅱ－5－9
5.2.1	はじめに	Ⅱ－5－9
5.2.2	偏心率の設定	Ⅱ－5－9
5.2.3	均一せん断棒モデルによる検討	Ⅱ－5－11
5.2.4	まとめ	Ⅱ－5－18
5.3	既存杭の処理を考慮した解析的検討	Ⅱ－5－20
5.3.1	解析の方針と計画の概要	Ⅱ－5－20
5.3.2	地下部分の性能が場所により異なる建築物の応答解析	Ⅱ－5－20
5.3.3	基礎ばりの剛強さの程度による地上部分(1階柱)の応力の違い	Ⅱ－5－115
5.3.4	施工段階の考慮が構造計算に及ぼす影響の検討(施工段階解析)	Ⅱ－5－180
第6章	既存杭を含む敷地における建築物の構造計算例の検討	Ⅱ－6－1
6.1	計算例1：既存杭を再利用し、従前建築物より上部構造の規模を拡大する場合	Ⅱ－6－1
6.1.1	計算例の概要	Ⅱ－6－1
6.1.2	建築物の概要	Ⅱ－6－2
6.1.3	地盤の概要	Ⅱ－6－10

6.1.4	杭ばね設定	Ⅱ－6－12
6.1.5	建築物の解析	Ⅱ－6－27
6.1.6	敷地における建築物の構造安全性の確認	Ⅱ－6－28
6.1.7	群杭効果を考慮した基礎梁の沈下	Ⅱ－6－45
6.1.8	施工段階解析	Ⅱ－6－51
6.1.9	振動モードの検討	Ⅱ－6－63
6.2	計算例2：既存杭を撤去し、従前建築物より上部構造の規模を拡大する場合	Ⅱ－6－64
6.2.1	計算例の概要	Ⅱ－6－64
6.2.2	建築物の概要	Ⅱ－6－65
6.2.3	地盤の概要	Ⅱ－6－72
6.2.4	杭ばね設定	Ⅱ－6－72
6.2.5	建築物の解析	Ⅱ－6－83
6.2.6	敷地における建築物の構造安全性の確認	Ⅱ－6－83
6.3	計算例3：既存杭を再利用し、従前建築物より上部構造の規模を縮小する場合	Ⅱ－6－101
6.3.1	計算例の概要	Ⅱ－6－101
6.3.2	建築物の概要	Ⅱ－6－102
6.3.3	地盤の概要	Ⅱ－6－108
6.3.4	杭ばね設定	Ⅱ－6－108
6.3.5	建築物の解析	Ⅱ－6－118
6.3.6	敷地における建築物の構造安全性の確認	Ⅱ－6－118
6.3.7	既存杭の杭頭固定度	Ⅱ－6－144
6.3.8	ねじり補正率の検討	Ⅱ－6－150
付録	既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）	Ⅱ－付－1
	はじめに	Ⅱ－付－1
第1章	総則	Ⅱ－付－2
1.1	適用範囲	Ⅱ－付－2
1.2	既存杭を含む敷地における建築物の建築計画の留意点	Ⅱ－付－4
1.3	既存杭を含む敷地における建築物の構造計画の留意点	Ⅱ－付－5
1.4	法令等への適合(既存杭の取り扱いに関わる法令・ガイドライン)	Ⅱ－付－7
第2章	設計のための調査	Ⅱ－付－12
2.1	既存杭を活用するための調査	Ⅱ－付－12
2.2	既存杭を撤去した敷地の調査	Ⅱ－付－13
第3章	許容応力度等	Ⅱ－付－15
3.1	既存杭の許容応力度・材料強度	Ⅱ－付－15
3.2	基礎ぐいの許容支持力等	Ⅱ－付－16
3.3	その他の部材の許容応力度等	Ⅱ－付－17
第4章	荷重及び外力	Ⅱ－付－18

4.1	荷重・外力の種類	Ⅱ－付－18
4.2	荷重・外力の組み合わせ	Ⅱ－付－18
4.3	その他の荷重及び外力	Ⅱ－付－19
第5章	解析モデルとその選定	Ⅱ－付－20
5.1	解析モデルの概要と方針	Ⅱ－付－20
5.2	地盤のモデル化	Ⅱ－付－21
5.3	杭基礎のモデル化	Ⅱ－付－22
5.4	地上部分のモデル化	Ⅱ－付－23
第6章	既存杭を含む敷地における建築物の構造計算	Ⅱ－付－24
6.1	原則	Ⅱ－付－24
6.2	長期荷重に対する検討	Ⅱ－付－25
6.3	短期荷重（中地震）に対する検討	Ⅱ－付－26
6.4	大地震に対する検討	Ⅱ－付－27
6.5	安全上支障のないことの確認	Ⅱ－付－30
6.6	その他の荷重及び外力に対する検討	Ⅱ－付－30
参考資料1	解体工事における杭体の調査結果	Ⅱ－付－31
参考資料2	杭撤去・埋め戻しに伴う地盤のゆるみの調査結果	Ⅱ－付－35
参考資料3	基礎ばりの剛強さの程度による地上部分（1階柱）の応力の違い	Ⅱ－付－42
参考資料4	地下部分のねじれ挙動を考慮した建築物の応答評価	Ⅱ－付－49
参考資料5	地下部分のねじれ挙動の影響に関する実験的検討	Ⅱ－付－55
参考資料6	ゆるみ領域での鉛直・水平載荷実験とFEM再現解析	Ⅱ－付－60
参考資料7	新設杭が撤去埋め戻し位置から離れた場合の杭頭ばね解析	Ⅱ－付－64
参考資料8	施工段階の考慮が構造計算に及ぼす影響の検討（施工段階解析）	Ⅱ－付－67

第Ⅲ編 既存宅地擁壁分野

第1章	目的及び概要	Ⅲ－1－1
1.1	調査の概要	Ⅲ－1－1
1.2	検討の概要（報告書の構成）	Ⅲ－1－1
1.3	検討の実施体制	Ⅲ－1－2
第2章	宅地擁壁の構造性能に関する検討	Ⅲ－2－1
2.1	宅地擁壁の実被害事例に基づく分析	Ⅲ－2－1
2.1.1	地震に対するブロック積み擁壁の要求性能の整理	Ⅲ－2－1
2.1.2	益城町における被災宅地の状況（擁壁被害と建物被害）	Ⅲ－2－9
2.1.3	仙台市における被災宅地の状況（擁壁被害と建物被害）	Ⅲ－2－42
2.1.4	擁壁被害と建物被害の関係	Ⅲ－2－101
2.1.5	被害状況に基づく擁壁性能の評価と補強による効果	Ⅲ－2－109
2.1.6	統計的手法による曲げ強度頻度分布の算定	Ⅲ－2－135

2.2	宅地擁壁の実態に関する調査	Ⅲ-2-149
2.2.1	高森台団地における調査	Ⅲ-2-149
2.2.2	益城町における被災擁壁の調査	Ⅲ-2-168
2.2.3	相馬市における被災擁壁の調査	Ⅲ-2-178
第3章	遠心模型実験に基づく宅地擁壁の耐震性能の検討	Ⅲ-3-1
3.1	実験方法と実験結果	Ⅲ-3-1
3.1.1	実験方法	Ⅲ-3-1
3.1.2	実験結果	Ⅲ-3-4
3.2	実験のシミュレーション解析	Ⅲ-3-11
3.2.1	解析モデルと解析方法	Ⅲ-3-11
3.3	擁壁の地震時応力評価	Ⅲ-3-14
3.3.1	地震時土圧の算定方法	Ⅲ-3-14
3.3.2	擁壁への土圧外力の発生メカニズム	Ⅲ-3-15
3.3.3	土圧による擁壁の地震時応力	Ⅲ-3-16
3.3.4	境界条件が擁壁の地震時応力に及ぼす影響	Ⅲ-3-18
3.4	擁壁への補強の有効性検討	Ⅲ-3-20
3.4.1	実験方法	Ⅲ-3-20
3.4.2	実験結果	Ⅲ-3-21
3.5	縦打ち鉄筋挿入工に対する解析的検討	Ⅲ-3-23
3.5.1	解析方法	Ⅲ-3-23
3.5.2	無補強における再現解析結果	Ⅲ-3-26
3.5.3	補強工法の現状の課題と提案工法の検討	Ⅲ-3-32
3.6	擁壁崩壊時の積み石の飛散距離に対する検討	Ⅲ-3-35
第4章	被災宅地擁壁を対象とした耐震補強に関する設計例及び解析的検討	Ⅲ-4-1
4.1	宅地擁壁の補強設計例作成	Ⅲ-4-1
4.1.1	既存石積擁壁の地震被害事例の整理	Ⅲ-4-1
4.1.2	対象擁壁のモデル化	Ⅲ-4-6
4.1.3	被災事例の地震時 FEM 解析（再現解析）	Ⅲ-4-23
4.1.4	補強対策工の静的設計	Ⅲ-4-40
4.2	設計例に基づく地震時 FEM 解析	Ⅲ-4-50
4.2.1	被災事例モデルの地震時 FEM 解析ケース	Ⅲ-4-50
4.2.2	対策工の解析条件	Ⅲ-4-51
4.2.3	被災事例モデルの地震時 FEM 解析結果	Ⅲ-4-58
4.2.4	被災事例モデルの地震時 FEM 解析結果の分析と評価	Ⅲ-4-104
4.3	まとめ	Ⅲ-4-127
4.3.1	既存石積擁壁の地震被害事例の整理	Ⅲ-4-127
4.3.2	被災状況の再現解析結果	Ⅲ-4-129
4.3.3	補強対策工の静的設計	Ⅲ-4-131

4.3.4	設計例に基づく地震時 FEM 解析	Ⅲ-4-132
4.3.5	対策工の比較	Ⅲ-4-136
4.3.6	被災事例モデルの地震時 FEM 解析結果の分析と評価	Ⅲ-4-138
4.3.7	今後の課題	Ⅲ-4-140
第5章	練積み・石積み擁壁を対象とした耐震設計手法（静的）の構築に関する検討	Ⅲ-5-1
5.1	検討の目的と概要	Ⅲ-5-1
5.2	宅地擁壁の耐震性評価法の整理	Ⅲ-5-1
5.2.1	静的設計へ適用する簡易モデルの検討（曲げ破壊）	Ⅲ-5-1
5.2.2	地震被害事例に基づく宅地擁壁の曲げ強度の評価	Ⅲ-5-4
5.2.3	静的設計へ適用する簡易モデルの検討（せん断破壊）	Ⅲ-5-11
5.2.4	地震被害事例に基づく宅地擁壁のせん断強度の評価	Ⅲ-5-18
5.2.5	対策工を考慮した場合の益城町擁壁（地震被害事例）における安全率	Ⅲ-5-21
5.3	まとめ	Ⅲ-5-25

執筆者

第Ⅰ編 研究開発の概要

井上 波彦	(国研) 建築研究所 構造研究グループ長 (前 建築研究部 建築品質研究官)
竹村 好史	建築研究部 基準認証システム研究室長

第Ⅱ編 既存杭分野

井上 波彦	(前掲)
喜々津 仁密	建築研究部 建築品質研究官
土屋 直子	建築研究部 材料・部材基準研究室 主任研究官
柏 尚稔	大阪大学工学研究科 地球総合工学専攻 教授 (前 建築研究部 構造基準研究室 主任研究官)
石原 直	東京科学大学 総合研究院 教授 (元 建築研究部 評価システム研究室長)

第Ⅲ編 既存宅地擁壁分野

井上 波彦	(前掲)
岩見 達也	都市研究部 都市防災研究室長
竹谷 修一	(国研) 建築研究所 住宅・都市研究グループ 主席研究監 (前 都市研究部 都市防災研究室長)
柏 尚稔	(前掲)

※ 所属・肩書きは令和6年10月現在。

