レベル2地震動による直接基礎の支持地盤塑性化後の残留沈下に関する数値解析

中央大学 学生会員〇石田 彩 正会員 西岡 英俊 鉄道総研技術研究所 正会員 佐名川 太亮 正会員 尾崎 匠

1. はじめに

橋脚のように重心重さが比較的高い上部構造物を支持する直接基礎では、地震時の慣性力によってフーチング端部が下方に押し込まれる.このような地震時に 生じる直接基礎底面の押し込み力に対して、我が国の 耐震設計基準の多くでは剛塑性理論に基づく支持力公 式に地震時慣性力による偏心・傾斜荷重の影響を考慮 して補正(低減)した設計鉛直支持力度を限界値とする 照査を行うこととしている.

しかしながら,実際の地盤はひずみが無視できるほ ど剛塑性的ではなく,特に直接基礎の支持力問題にお いては、地盤のひずみが基礎周辺に集中した後に基礎 の沈下量の増大に伴って塑性領域が周辺に増加してい くという進行的な破壊挙動を示す.よって、レベル2地 震動のような大きな地震力が作用した場合には、従来 の支持力照査を満足しなくなった時点で必ずしも即座 に倒壊するとは限らず、支持地盤の塑性化に伴って 徐々に残留沈下・傾斜が増加していくことが知られて いる. そのため、レベル2地震動の直接基礎の修復性を 考える上では、押し込み側の支持地盤の塑性化によっ て生じる残留沈下量を評価することが重要である. そ のような残留沈下量を評価する実務的手法として、文 献1)ではフーチング底面にバイリニア型の鉛直地盤ば ねを分布させる「分布地盤ばねモデル」を用いて直接基 礎の残留沈下量を算定する手法が提案されている.し かしながら、文献1)では上述したような進行性破壊の

影響については十分に検討されていない.

そこで、本研究では分布地盤ばねモデルを用いた数 値解析(非線形動的骨組み解析)により、鉛直地盤ばね の骨組み形状の違いが残留沈下量に及ぼす影響につい て検討した.

2. 解析概要

文献 1) では,各鉛直地盤ばねの骨格曲線は剛塑性理 論から定まる極限支持力(に基づく設計支持力度)を折 点として初期剛性の数%程度の 2 次勾配を有するバイ リニアモデル型の地盤ばねを用いているが,2次勾配の 大きさの影響については明確に規定されていない.そ こで本研究ではバイリニア型の骨格曲線の考え方を, 図-1 に示すように比較的小さい変位レベルで第1折点 (変位 δ_1 ,地盤反力 P_1)を設け,それ以降の2次勾配 で抵抗が増加して最終的に基礎幅 B の 10%の沈下量 (= δ_2)で極限支持力 (P_2)に達するという考え方に改 め,極限支持力度の第1折点の大きさ(およびそれに応 じた 2 次勾配)を主たるパラメータとしたパラメトリ ックスタディを行った.



| ケース名 | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE | CASE |
|----------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 4-1 | 4-2 | 4-3 | 4-4 | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 |
| 地盤ばね定数[kN/m] K(中央) | 7080.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 種限支持力 [kN] P2 | 177.02 | | | | 354.04 | | | | 708.08 | | | | 1416.16 | | | | 2832.32 | | | |
| P1/P2 [%] | 30 | 50 | 70 | 90 | 30 | 50 | 70 | 90 | 30 | 50 | 70 | 90 | 30 | 50 | 70 | 90 | 30 | 50 | 70 | 90 |
| 第1折点の地盤反力[kN] <i>P1</i> | 53.106 | 88.51 | 123.914 | 159.318 | 106.212 | 177.02 | 247.828 | 318.636 | 212.424 | 354.04 | 495.656 | 637.272 | 424.848 | 708.08 | 991.312 | 1274.54 | 849.696 | 1416.16 | 1982.62 | 2549.09 |
| P1の安全率(P1/q ΔBL) | 0.6 | 1 | 1.4 | 1.8 | 1.2 | 2 | 2.8 | 3.6 | 2.4 | 4 | 5.6 | 7.2 | 4.8 | 8 | 11.2 | 14.4 | 9.6 | 16 | 22.4 | 28.8 |
| P2の安全率(P2/qABL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | 16 | 16 | 16 | 16 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 剛性低下率α | 3.6% | 2.6% | 1.6% | 0.5% | 7.2% | 5.3% | 3.2% | 1.1% | 14.9% | 11.1% | 7.0% | 2.4% | 31.8% | 25.0% | 16.7% | 6.3% | 74% | 67% | 55% | 29% |
| 残留鉛直沈下量[m] | 0.39425 | 0.3148 | 0.20228 | 0.09501 | 0.13495 | 0.04189 | 0.01937 | 0.015 | 0.0218 | 0.01367 | 0.01286 | 0.01286 | 0.01287 | 0.01286 | 0.01286 | 0.01286 | 0.01286 | 0.01286 | 0.01286 | 0.01286 |
| | | | | | | | ※フー | ・チング | 底面の | 両端のに | ばね要素 | 長の地盤 | ばね定 | 数・荷 | 重の入 | 力値は、 | この表の |)値の1 | /2 とし | た. |

表-1 ケース名と各鉛直地盤ばねの解析入力値

キーワード:直接基礎,分布ばね,進行性破壊

連絡先:〒112-8551 東京都文京区春日1丁目13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎·地下構造研究室 TEL:03-3817-1804

具体的には, 類似の解析事例 2) を参 考として、図-2に示すような橋脚高さ 12.36m, フーチング底面が幅 B=5m, 奥 行き L=5m, 構造物全体の死荷重 8851 kN (平均接地圧 q=354kN/m²) 橋脚を解 析対象として、フーチング要素数を101 要素の分布地盤ばねモデルでモデル化 した. 解析ケース毎の地盤条件は, 極限 支持力 P2を死荷重に対するばね1つ当 たりの地盤反力 (q △ BL) の 2~32 倍に 変化させたケースを基本として,更に各ケースで第 1 折点の地盤反力の極限支持力に対する割合 P1/P2 =30~90%の範囲で変化させた.主な解析入力値を 表-1 に示す.

12.36m

ΔB=0.05m

211 212

図-2

また,入力地震動は,文献2)と同様に鉄道構造 物の耐震設計で内陸活断層による直下型のレベル 2 地 震を想定した設計地震動とした.

3. 解析結果と考察

極限支持力 P_2 をばね1つ当たりの全体重量の4倍に したケースの解析結果の一部を図-3および図-4に示す. **図-3**は、フーチング底面の端部(要素 211)と中央(要 素 261)の履歴特性,図-4は橋脚天端(節点 1)の鉛直 および水平変位の時刻歴である.第1折点の地盤反力 P1が小さいほど、各地盤ばねの塑性化の程度が大きく、 橋脚天端の残留沈下量も大きくなることがわかる.

全ケースのフーチング底面中央(要素 261)の残留変 位と P₂/q ΔBL (=極限支持力 P₂の死荷重に対する安全 率)の関係を図-5 に、P₁/q ΔBL (=第1 折点の地盤反 力 P1の死荷重に対する安全率)の関係を図-6 に示す. これらの図から、極限支持力 P2よりも第1折点の地盤 反力 P1 の方が残留沈下量との相関性が高いことがわか る. また,極限支持力 P2の安全率が一般的に常時で必 要とされる 3 以上を有していても、支持地盤が進行性 破壊を示すような場合には地震後に残留変位が生じる 可能性がある.その一方,極限支持力 P2の安全率に関 わらず,第1折点の地盤反力 P1の安全率で概ね 2~3 程 度確保していれば、地震後でも有害な残留沈下が生じ る可能性は低いと考えられる.

4. まとめ

残留沈下量を評価可能な分布地盤ばねモデルによる パラメトリックスタディの結果、極限支持力に対する



図-6 P1の安全率と残留鉛直沈下量の関係

安全率が同等であっても,進行性破壊を示す地盤条件 では残留沈下量が増加する場合があることが確認でき た. 今後はさらに、多様な条件での解析を行い、実務的 な評価手法の開発を進める予定である.

参考文献

- 1) 西村隆義, 西岡英俊, 神田政幸, 舘山勝: 分布地盤ばねモ デルによる地震後の直接基礎の沈下量評価法,鉄道総総研 報告, Vol.24,No.7, pp.23-28, 2010.
- 2) 笠原康平, 佐名川太亮, 中島卓: 地震を受けた直接基礎の 残留変化量の推定に関する研究,第15回日本地震工学シ ンポジウム, pp.2600-2609, 2018.