

L2 地震動を考慮した抗土圧構造物の最適設計 に関する一考察

小林寿子¹・澤田 亮²

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所(〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2-6)

²正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所 総務部(〒185-8540 東京都国分寺市伊賀二丁目8-38)

L2 地震動を考慮した鉄道路木構造物における耐震設計法は、ある程度の損傷を許容した性能照査型の耐震設計を実施することとしている。これは、L2 地震動のような再現期間が極めて長いような地震に対して損傷を許容しない設計は不経済となること等によるが、この場合、損傷を許容する部位が課題となる。特に、擁壁・橋台といった土圧に抵抗する抗土圧構造物については土に接している構造であり、地震後の状況、復旧方法等を鑑みて損傷を許容する部位を設定する必要がある。

本研究では橋台を対象として損傷部位の違いによる地震後の状態の程度を比較検討し、抗土圧構造物の損傷部位の合理的な考慮方法について検討し、抗土圧構造物の L2 地震時における耐震設計法に関する基礎的知見を得た。

Key Words : retaining structure, seismic design method, earth pressure

1. はじめに

擁壁や橋台などの土圧に抵抗する抗土圧構造物の地震時における被害は、構造物全体の傾斜、転倒や壁体および基礎の破壊などである。この原因として、地震動による慣性力のほかに地震時土圧の増大によることが考えられる。

1995 年に発生した兵庫県南部地震を契機として、L2 地震動を考慮した鉄道路木構造物における耐震設計法は、ある程度の損傷を許容した性能照査型の耐震設計を実施することとしている。これは、L2 地震動のような再現期間が極めて長いような地震に対して損傷を許容しない設計は不経済となること等によるが、この場合、損傷を許容する部位が課題となる。特に、擁壁・橋台といった土圧に抵抗する抗土圧構造物については土に接している構造であり、地震後の状況、復旧方法等を鑑みて損傷を許容する部位を設定する必要がある。

本報告は、杭基礎形式の橋台を対象として損傷部位の違いによる地震後の状態の程度を比較検討し、抗土圧構造物の損傷部位の合理的な考慮方法について検討したものである。

2. 耐震設計法の現状

抗土圧構造物の耐震設計は、他の構造物と同様に考慮

する地震時荷重の算定、構造解析の実施および耐震性能の照査に大きく分けることができる。これらの3つの事項は互いに密接に関連しており、合理的な耐震設計法は、これらのバランスを保つことが重要である。

ここで、抗土圧構造物の耐震性能の基本的考え方は以下の通りである。

- ・耐震性能Ⅰ：地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない。
- ・耐震性能Ⅱ：地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる。
- ・耐震性能Ⅲ：地震によって構造物全体が崩壊しない。

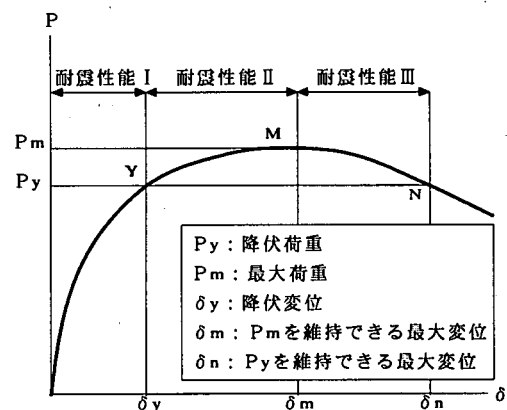


図1 耐震性能

ここに示す耐震性能は以下に示す3つの指標で考慮される。

- ① 基礎の安定レベル（地盤および基礎の部材）
- ② く体の損傷レベル
- ③ 残留変位（最大変位）

ここで、損傷を許容する部位は、図2に示すように、基礎の安定については杭基礎を例にすると一般的には杭頭部、地盤については先端支持力とし、く体の損傷については下部（フーチングとの接続部）付近を考えている。これらの損傷部位は、設定した耐震性能を鑑み、地震後の復旧程度を考慮して定めることとなる。しかし、抗土圧構造物のように土に接し抵抗する構造物の場合は、通常の橋脚が正負交番载荷により変形するのに対して一方向载荷に近い状態で変形が進行するため、累積変形に対してより厳しい状態になるとともに、地震後も背後地盤からの土圧に対して抵抗する必要がある等、転倒に対して通常の橋脚よりも厳しい条件になる。また、残留変位についても前述したように地震後も背後地盤からの土圧に対して抵抗するため、損傷部位によりその程度が大きく異なることも想定され、これらの点を勘案して損傷部位を定性的に定めることが合理的な設計への課題となる。

3. 最適な損傷部位の検討

前述したように、損傷部位の違いが地震後の構造物の状態に与える影響が通常の橋脚に比べて抗土圧構造物は大きいことが想定される。そこで、損傷部位の違いによる大地震時の塑性領域での応答値を推定し、最適な損傷部位について検討した。

ここで、抗土圧構造物の大地震時における塑性領域での応答値の推定は、抗土圧構造物の地震時における挙動

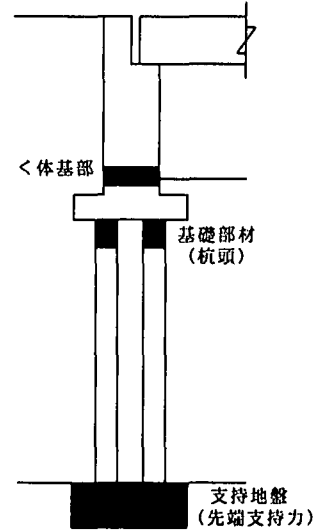


図2 抗土圧構造物の損傷部位

が橋脚などとは異なり変形が一方向に卓越することを勘案し、図3に示すような静的非線形解析（プッシュオーバーアナリシス）により算定した構造物の荷重～変位関係から、図4に示すエネルギー一定則を適用して実施している¹⁾。したがって、本検討においても上述した設計計算における構造解析手法により検討を実施した。

検討は、図5に示す杭基礎型式の橋台を検討モデルとし、構造物および地盤の強度を仮定することで損傷部位を任意に設定し、その違いによる塑性変形等に及ぼす影響について推察した。

ここで、検討に用いた橋台は、

- ① 橋台型式：鉄筋コンクリート逆T型橋台（単線用）
- ② 橋台の高さ：6.17m（桁座面からフーチング上面）
- ③ 上部構造物：単線下路プレートガーター（支間19.0m，鋼直結軌道式）
- ④ 基礎型式：場所打ち杭（φ800mm，L=11.8m，オ

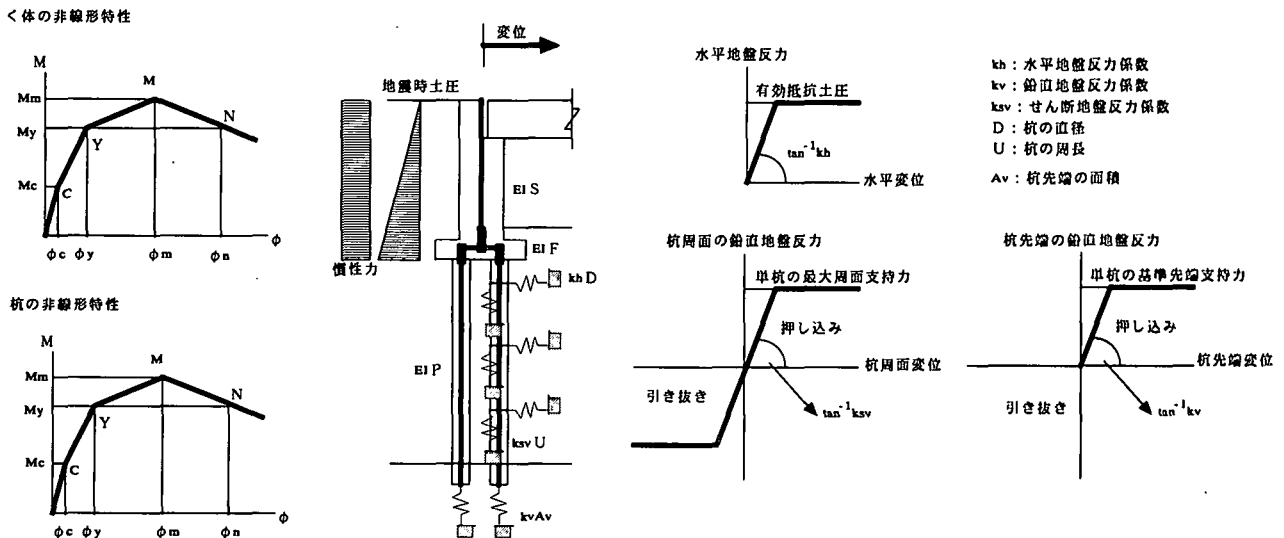


図3 静的非線形解析の概略

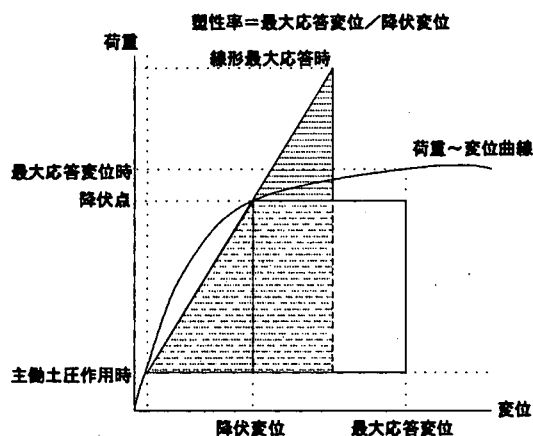


図4 エネルギー一定則

ールケーシング杭)

⑤基礎の支持条件：完全支持

である。なお、図6に土質条件を示す。

本検討で考慮した損傷部位はく体基部、杭頭および支持地盤である。このうち、く体および杭については降伏震度が概ね0.4程度となるように設定した。これは、設計震度0.4を確保していればL1地震における安全性が担保されることを考慮したものである。

なお、地震時主働土圧は修正物部・岡部式²⁾により算定し、く体および杭部材の非線形特性には軸方向鉄筋の抜け出しの効果も考慮した。また、本検討における慣性力および地震時土圧の算定において考慮する最大加速度は地盤種別より震度換算で0.97である。

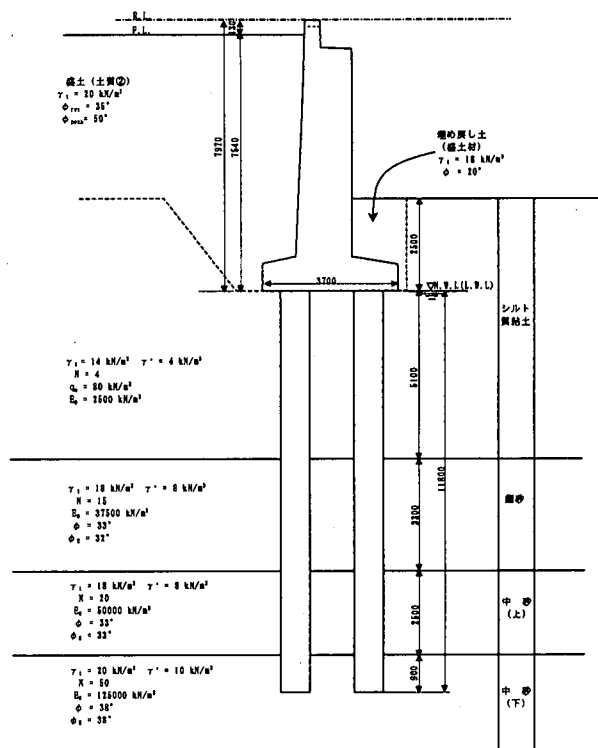


図6 土質条件

れている。また、損傷した部位についても降伏強度を下回ることではなく、耐震性能Ⅲを満足していることがわかる。

図8は杭頭の降伏を先行させた場合の結果である。この場合、杭の降伏は引抜き側の杭で発生している。この場合の変位量は139.99mm程度であり、く体基部の降伏を先行させた場合よりも大きい変位となっており、降伏後の応力の増加傾向もく体降伏先行時より大きくなっている。なお、杭部材については耐震性能Ⅲを満足する結果となっている。

図9は地盤の降伏を先行させた場合の結果である。この場合の変位量も113.62mm程度と杭を降伏させた場合と同程度の変位量となっている。降伏後の応力増加傾向は他の2ケースよりも大きく、部材が健全であることが影響している。また、地盤の支持力から定まる降伏震度は0.6程度であり、最大応答変位時における震度は程度であることから、く体および杭は以上の耐力が必要となる。

以上の結果から、く体基部を降伏させた場合の変位量が最も小さく、降伏後の応力増加程度も小さいことがわかる。これは、抗土圧構造物の特徴である作用する土圧の違いによるところが大きい。図10に示すように、く体の降伏が先行する場合はすべり線の発生位置がく体直近であると想定されるが、杭や地盤の降伏が先行する場合には仮想背面が形成されることですべり線の発生位置もく体の後方となるため、土圧係数が異なることとなり、さらに仮想背面内の土の重量にも慣性力を考慮するため、

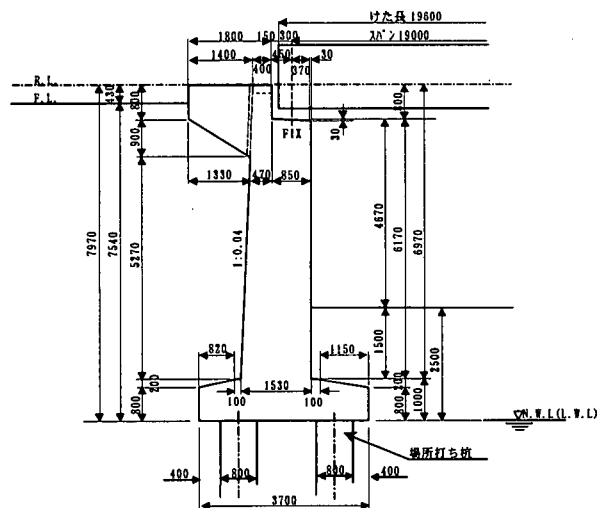


図5 検討に用いた橋台一般図

検討結果を以下に示す。図7はく体基部の降伏を先行させた場合の荷重～変位関係およびエネルギー一定則により算定される最大応答変位量である。これによると構造物天端での変位量は63.8mm程度であることがわかる。この場合、フーチング中心位置ではほとんど変位が生じておらず、く体の変形が卓越していることが確認さ

作用する荷重が異なる結果となる。また、通常の橋脚に比べてく体の断面2次係数が大きく杭との剛性の違いも変形量の差となっていると考えられる。

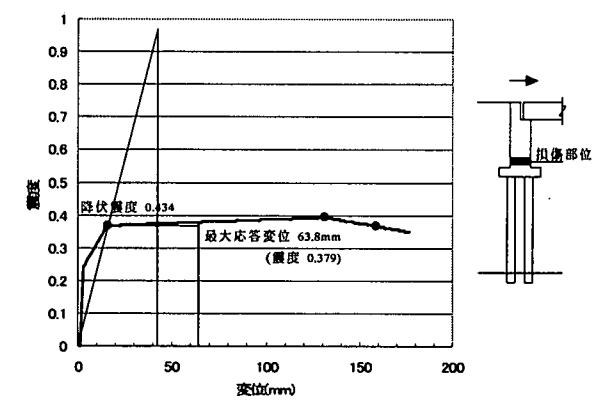


図7 く体基部降伏先行時の荷重～変位関係

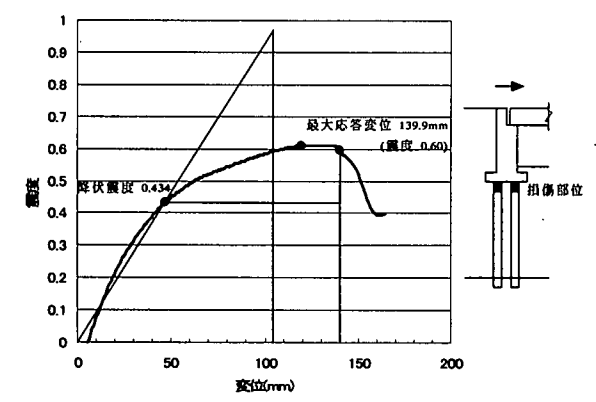


図8 杭部材降伏先行時の荷重～変位関係

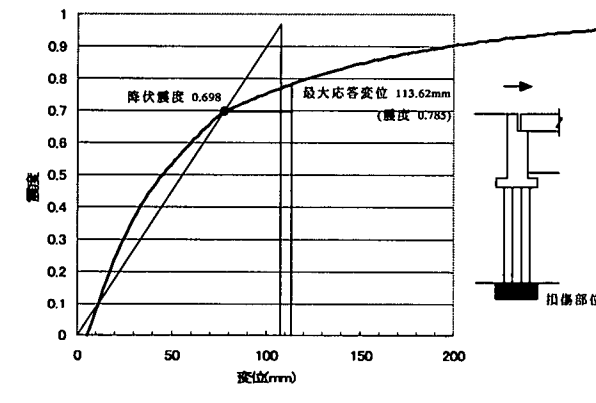


図9 地盤降伏先行時の荷重～変位関係

4. 耐震設計への考慮

本検討の結果より今後の耐震設計への配慮として以下のことが考えられる、
 これまで、く体の降伏が先行する場合、基礎の照査はく体の降伏震度を用いて、仮想背面が形成された状態で

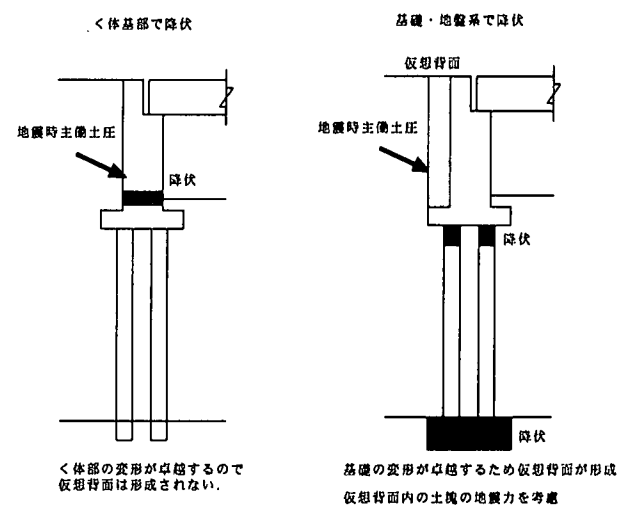


図10 損傷部位と考慮する土圧の模式図

の土圧で実施していた。しかし、く体の変形が卓越することから、く体の照査と同様にく体直近ですべり線が形成される状態での土圧を考慮することが考えられる。また、これとは逆に、基礎の降伏が先行する場合には仮想背面内の土塊に地震力を考慮した荷重状態でく体の照査を実施する必要があると考えられる。

5. おわりに

杭基礎型式の橋台について静的非線型解析より合理的な設計となるような最適な損傷部位について検討した。その結果、く体基部での降伏を先行させる構造とすることで作用荷重を低減することになり、経済的な設計が図ることができると考えられる。しかし、本件頭の結果は1例にしか過ぎず他の条件で同様の結果が得られるとは限らないが、く体の降伏が先行することで地震力を考慮する土塊の範囲が異なり作用荷重の低減を考慮することは可能であると考えられる。
 今後は上記の事項について、異なる地盤条件や他の基礎などを対象に同様の検討を実施する。また、模型振動実験からも検証を実施し、提案した設計法をさらに深度化する予定である。

謝辞：本研究の解析において、(株)複合技術研究所・矢崎澄雄氏に協力していただいた。末筆ではあるが深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 澤田亮,西村昭彦:抗土圧構造物の耐震設計,鉄道総研報告,第13巻第2号,1999.3
- 2) J.Koseki,F.Tatsuoka,Y.Munaf,M.Tateyama, K.Kojima : A Modified Procedure to Evaluate Active Earth Pressure at High Seismic Loads, Special Issue of Soil and Foundations, pp.209～pp.215,1998.9