

### 擁壁、橋台の地震応答特性を考慮した耐震設計法の提案

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺健治、西岡英俊、神田政幸

**1.研究の背景** 現行の鉄道構造物等設計標準では、擁壁、橋台は「抗土圧構造物」として分類され、同様な耐震設計法が適用されている。しかしながら、表 1 に示したように、擁壁と橋台は一般的な適用法、地震時の応答特性等が異なるため、設計時にはそれぞれの特性に応じた地震時応答値算定法が適用されることが望ましい。また、地震時において橋台は隣接する橋梁と間の相対変位（目違い、折れ角）が重要な性能照査項目となるため、橋梁との親和性が高い耐震設計法の方が実務上有効である。以上を踏まえ本論文では、橋桁の重量や基礎形式を変化させた橋台模型の振動実験を行い、慣性力や地震時土圧の作用の特徴を評価した。この結果と、過去に実施した擁壁模型の振動実験<sup>1)</sup>の比較を行うことにより擁壁、橋台の地震時応答特性を比較し、設計モデルを提案した。

**2.模型実験の概要** 模型振動実験は、縮尺 1/10~1/20 程度の模型橋台を用い、桁重量および基礎型式を変化させた（図 1）。橋台を主働方向に静的に載荷する実験も行った。橋桁の重量は実橋台を想定し、橋台および橋桁の死荷重が支持地盤の鉛直支持力の 1/10 程度となるように調整したものを基本ケースとし（以下：重量桁）、橋桁重量を 1/4 にした場合も実施した（以下：軽量桁）。加振は 2、5、10Hz の正弦波を用い、段階的に加速度を上昇させた（最大 600gal）。橋台に作用する地震時土圧は 5 つの 2 方向ロードセルにより直応力・せん断応力成分を測定した。

**3.実験結果および考察** 図 2 に杭基礎橋台（重量桁）における作用モーメントと回転角の関係を示す。ここでは、慣性力（橋台く体および橋桁への慣性力）、および慣性力と地震時土圧の合力によるモーメントを示している。この図より、慣性力が主働方向に作用した際、全作用に占める慣性力の比率が大きい（7~8 割程度）ことが分かる。別途行った軽量桁の橋台模型の場合でも概ね半分以上を慣性力が占めており、これらの実験で得られた比率は実設計された橋台（高さ 8m）に作用する耐震設計上の地震時土圧（修正物部岡部式で評価）と慣性力の比率と概ね整合している。一方、擁壁の場合は全作用の 5 割~8 割程度を地震時土圧が占めている（図 3）。このような地震時土圧の動特性の違いについては過去の模型実験でも観察されており、図 4 のように解釈することができる。主に慣性力の影響が小さい構造物（擁壁）の場合は地震時土圧が主体的に作用し、この時の土圧は修正物部岡部式で求まる値に近い。これに対して慣性力の影響が大きい構造物（主に橋台）の場合、橋台が地盤よりも大きく変位するため地震時土圧には上限値が存在する。すなわち、同じ地震動が作用した場合でも橋台と擁壁では作用する地震時土圧は異なる。

一方で、慣性力が受働方向に作用した場合を見ると、橋台（図 2）、擁壁（図 3）に共通して弾性的な戻り（変位の復元）が小さいことが分かる。地震時土圧の計測データを詳細に見たところ、この時には背面盛土から大きな受働土圧が作用していることが確認された。抗土圧構造物の変位の累積性はこの受働土圧の影響を大きく受けており、この点が背面盛土の存在しない橋脚との大きな違いであると言える。

図 2 には同一模型の静的載荷試験により得られた載荷モ

表 1 抗土圧構造物（擁壁・橋台）の特徴

	構造形式の例	特徴		
		適用箇所・方法	軌道荷重の支持方法	地震時の応答特性
擁壁		・主に土構造物の付帯構造物としての適用 ・一般に5m以下の場合が多い	直接的には支持しない	・慣性力に比して地震時土圧の作用が支配的 ・動的応答の影響が少ない
橋台		・橋梁の端部への適用	直接支持	・地震時土圧に比して、く体・橋桁の動的応答、慣性力の影響が支配的

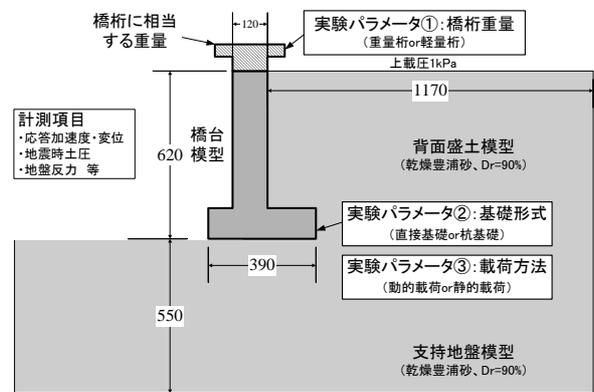


図 1 模型実験の概要 (単位:mm)

キーワード：抗土圧構造物、擁壁、橋台、振動実験、耐震設計法

連絡先：東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部基礎・土構造 Tel.042-573-7261 Fax.042-573-7248

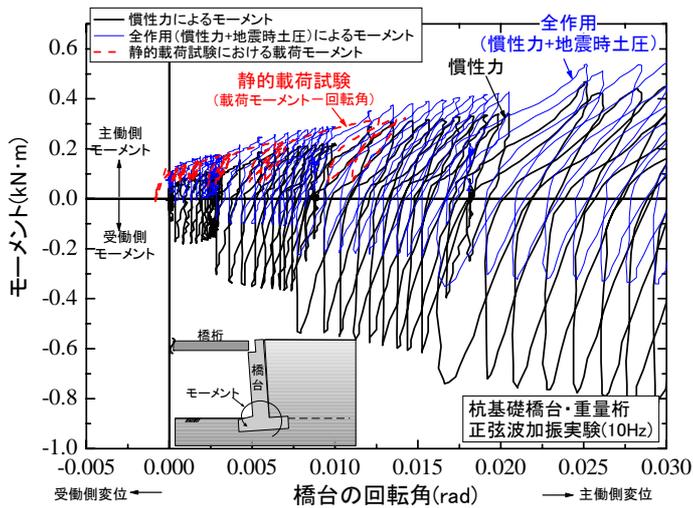


図2 橋台模型実験におけるモーメントと回転角の関係

モーメントと回転角の関係（いわゆる骨格曲線）を合わせてプロットしているが、静的載荷試験と振動試験結果の包絡線は概ね一致していることがわかる。すなわち、橋台の場合は橋脚の耐震設計と同様の手法で基礎の骨格曲線を求め、地震時土圧（主働、受働）の影響を考慮した一自由度モデルを用いることにより一方向の変位の累積性を表現できると考えられる。しかしながら、軽量桁の橋台模型では特に大加速度領域で地震時土圧の影響が相対的に大きくなり、静的載荷試験結果と振動実験結果の包絡線は一致しなかった。そのため、地震時土圧の影響が大きい擁壁の場合は橋脚と同様な設計モデルではなく、盛土の耐震設計に用いられる Newmark 法のような剛体ブロックの運動により一方向の変位の累積性を表現できる可能性が高いことが分かった。

**4. 擁壁・橋台の設計モデルの提案** 上記の実験結果を踏まえ、橋台・擁壁の地震時変形量算定のための設計モデルを図5のように提案する。橋台は、基礎および橋台の抵抗特性を橋脚と共通の骨格・履歴特性を有するバネとしてモデル化し、これに地震時土圧の影響を考慮する。一方、擁壁は Newmark 法で算出するが、その際、支持力の降伏曲面を用い、滑動・回転モードの連成を考慮してしきい値を求める。本モデルを用いた試算結果は別途報告する。

**5. 今後の課題** 本論文では、慣性力、地震時土圧の影響を考慮し、橋台と擁壁で異なる設計モデルを提案した。橋台については、現行の橋脚の設計モデルに地震時土圧の影響を考慮する方法、擁壁については Newmark 法の適用を提案した。しかしながら、例えば背が低く地震時土圧の影響が相対的に大きくなる橋台など、擁壁と橋台の中間領域の抗土圧構造物の取扱い方法が課題となる。上記の知見は現在改定中である鉄道構造物等設計標準に反映する予定であり、その際には補強土構造物と等価な指標による性能規定化を行う予定である。なお、本報告は「土構造物設計標準（土留め構造物編）」に関する委員会（委員長：龍岡文夫東京理科大学教授、幹事長：古関潤一東京大学教授）での検討内容の一部をまとめたものである。

参考文献：1) 渡辺健治、館山勝：地震時土圧の大きさに及ぼす擁壁の地震時安定性の影響について、第60回土木学会年次学術講演会、2005

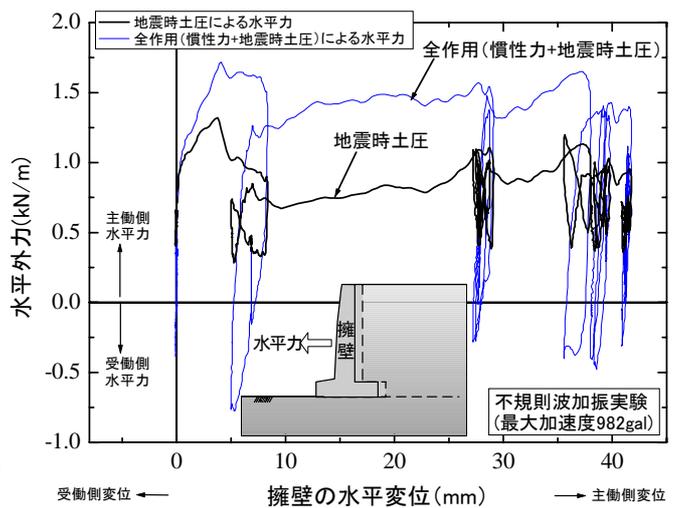


図3 擁壁模型実験における水平外力と変位の関係

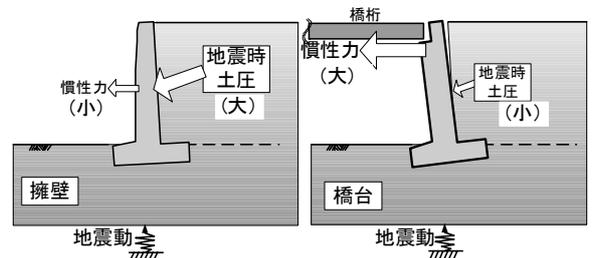


図4 地震時応答特性が異なる抗土圧構造物への地震時土圧の作用のイメージ

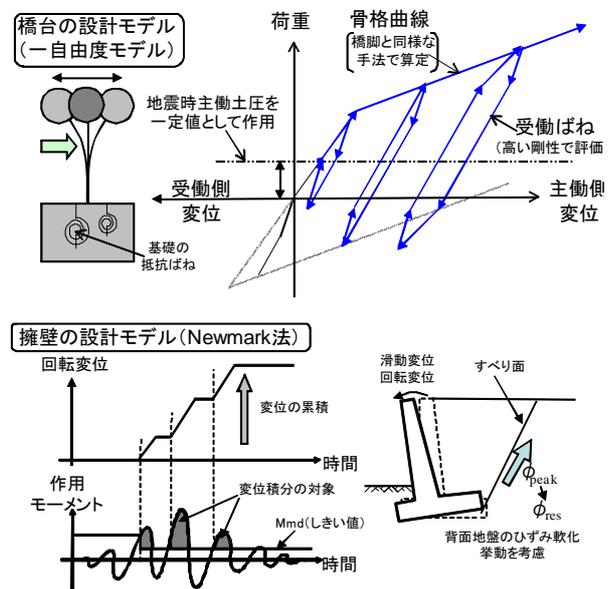


図5 橋台・擁壁の設計モデルの提案