

プレロード・プレストレスト(PL・PS)補強土橋台の限界状態設計法に関する基礎的検討

プレロード, プレストレス, 補強土

鉄道総合技術研究所 正 山田 孝弘, 館山 勝
 複合技術研究所 正 矢崎 澄雄
 東京大学 正 内村 太郎, 龍岡 文夫

1. はじめに

地震時の橋台裏盛土の沈下は, 列車の走行安定性を著しく低下させる. 筆者らは, L2地震動にも耐えうる耐震性橋台の一つとしてプレロード・プレストレスト(PL・PS)補強土橋台を提案し, その耐震性について模型振動実験によって検証してきた^{1),2)}. 本論文は, 本構造形式の限界状態設計法の確立をめざして, 表1の施工手順に則した設計モデルおよび耐震設計の考え方について示す.

2. 盛土の強度定数の設定

設計で用いる盛土の強度定数は, L2地震動に対する地震時主動土圧の計算やニューマーク法の適用にあたって, 盛土が破壊に至るまでのプロセスで, すべり面やせん断面内の土の強度がひずみの局所化によって軟化し, ピーク強度から残留強度まで低下する特性を考慮する. すなわち, 同一の盛土に対して, ピーク状態と残留状態の内部摩擦角 ($\phi_{peak} \cdot \phi_{res}$) を設定する.

3. 設計プレロード・プレストレスト (PL・PS) の設定

図1に設計PL・PSの設定概念図を示す. 設計PSは支承部に作用する桁死荷重以上とし, 設計PLは設計PSに列車荷重による増加鉛直荷重を付加して設定する. このとき, 設計PLは荷重が大きく変動した場合を担保するため, 補正係数により割増しする. また, 模型実験や試験盛土, JR九州篠栗線での実績³⁾より, 設計PLは設計PSの2倍の大きさを目安に設定するものとする.

4. 設計PL载荷時の検討 (表1 の状態)

設計PL载荷時とは補強盛土体部が立ち上がり, 小橋台を設置した状態をいう. このとき, 壁面工は打設されていないものとする. この状態では, 補強盛土体の安定および小橋台底版の部材応力を照査する.

図2に補強盛土体の設計土圧分布の仮定を示す. 盛土による土圧は粒度調整砕石の ϕ_{peak} を使って2楔法により算出する. また, 設計PLによる土圧は, 設計PLを小橋台底面積で除した分布荷重による土圧が小橋台底版から分散角を考慮した範囲に作用すると仮定して算出する. これらの設計土圧を用いて, 補強盛土体の安定を全体系の安定のみならず, 高さ方向の各補強材位置でのつり合いを照査する部分安定計算法⁴⁾により照査する.

小橋台底版は, 設計PLに対して, 定着装置部の押抜きせん断の照査を行う. さらに, 線路横断方向の断面を弾性床土上の梁と仮定して, 部材の変形, ひび割れについて照査する. このとき, 設計PLが作用して

いる盛土の弾性圧縮ひずみ変化 $d\epsilon_c$ に対するヤング率 $E_v = d\sigma_c / d\epsilon_c$ は, 前述したJR九州の実績に基づくか, あるいは鉛直増

表1 PL・PS補強土橋台の施工手順

補強盛土構築	底版構築, 設計PL载荷 (除荷)
胸壁構築	壁面工構築, 桁設置 (完成系)

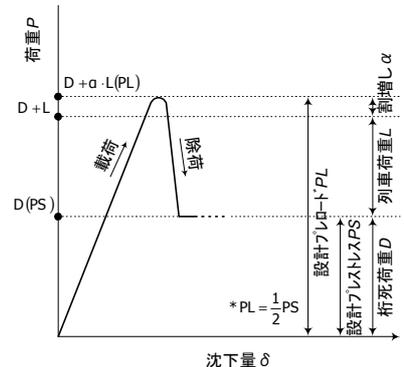
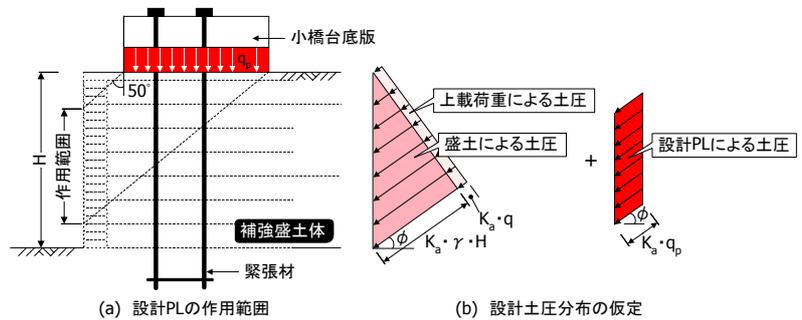


図1 設計PL・PSの設定概念図



(a) 設計PLの作用範囲
 (b) 設計土圧分布の仮定
 ここで, γ : 盛土の単位体積重量, ϕ : 内部摩擦角, H : 盛土高, q : 上載荷重, q_p : 設計PLの換算分布荷重, K_a : 主動土圧係数

図2 補強盛土体の設計土圧分布の仮定

加応力による拘束圧の影響を考慮して設定するものとする。

5. 耐震設計

PL・PS補強土橋台の耐震設計は、小橋台部と補強領域部（図3参照）に対して行う。それに先立ち、PL・PS補強土橋台の耐震性能は、小橋台部と補強領域部および連結部に独立して設定する（表2）。小橋台部と補強領域部の耐震性能は、一般の鉄道抗土圧構造物⁵⁾に準拠することを基本とする。また連結部については、L2地震動に対し、設計引張強度に達することを許容する。なお、設計地震動は、地盤種別ごとの地表面最大加速度を用いる。図3にPL・PS補強土橋台の耐震設計概念図を、図4に耐震設計モデルを示す。

小橋台部は平地盤上の直接基礎式橋台として、補強領域部は擬似重力式橋台と仮定して耐震設計を行う。また、背面盛土による地震時土圧は、粒度調整碎石の ϕ_{res} を使って修正物部・岡部法⁵⁾により算出する。

PL・PS補強土橋台の応答値は、図4に示す各設計モデルに対し静的非線形解析⁵⁾によって算出する。このとき、基礎は直接基礎としてモデル化し、底面にせん断バネ、回転バネを設ける。また補強材バネは、水平（主働）方向の抵抗バネとして評価し、節点間距離内の補強材を集約して各節点に与える。ただし、補強領域部の設計モデルでは、設計上安全側の割り切りとして補強領域部背面深くに敷設した補強材のみを考慮する。なお補強材バネの非線形性は、設計破断強度を上限値とするパイリニアモデルとする。

耐震性能照査は、静的非線形解析の結果、得られた荷重～変位関係にエネルギー一定則を適用して応答値を算出し、部材の耐震性能や塑性率を耐震標準⁵⁾に準拠して行う。特に補強領域部では、L2地震動により、曲げが作用する変形モード（見かけの緊張力が増加）に対し、構造系の一体性（内部破壊を生じない）を照査する。さらに、小橋台部、補強領域部の滑動変形量をニューマーク法により算出し、その値が許容変形量以内であることを確認する。このとき、滑動力が底面の最大せん断抵抗力に達するまでは粒度調整碎石の ϕ_{peak} を、それ以降は ϕ_{res} を用いる。

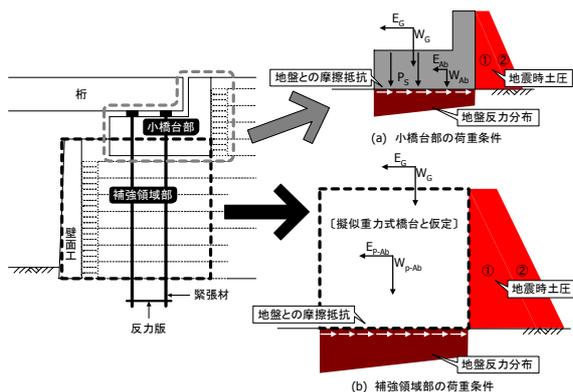
6. おわりに

本論文では、これまで実施した模型振動実験、JR九州での実績などを踏まえ、PL・PS補強土橋台の限界状態設計法を提案した。今後、補強材のバネ特性や高プレストレス下の砂、礫の変形特性などを精緻にモデル化するための各種試験、解析を計画している。これらの結果に基づき、本設計法の妥当性を検証するとともに、さらに合理的な設計法をめざす予定である。なお、本設計法に基づく試算結果については、参考文献6)を参照されたい。謝辞 本研究の一部は、運輸施設整備事業団基礎研究制度の助成による成果である。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献 1) 半井，篠田，渡辺ほか：プレロード・プレストレスト補強土橋台の模型振動実験，第36回地盤工学研究発表会，pp.2033~2034，2001. 2) 内村，龍岡，半井ほか：PLPS補強土橋台の耐震性に対するプレストレス維持の重要性，第56回土木学会年次学術講演会()，pp.484~485，2001. 3) 古賀，内村，龍岡ほか：PL・PS補強土橋脚の供用時の挙動，第33回地盤工学研究発表会，pp.2401~2402，1998. 4) 地盤工学会：補強土入門，pp.130~131，1999. 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），1999. 6) 矢崎，山田，館山ほか：プレロード・プレストレスト（PL・PS）補強土橋台の設計法確立に基づく試設計例，第37回地盤工学研究発表会，2002.

表2 PL・PS補強土橋台の耐震性能

部材 / 設計地震動		L1地震動	L2地震動	
小橋台部	基礎の安定	弾性範囲以内	塑性率の制限値以内	
	部材	胸壁	弾性範囲以内	損傷を許容
		底板	弾性範囲以内	最大耐力以内
構造系の変形			許容変形量以内	
連結部	補強材	設計破断強度以内	設計引張強度を許容	
	緊張材	設計引張降伏強度以内	設計引張強度を許容	
補強領域部	基礎の安定	弾性範囲以内	塑性率の制限値以内	
	部材	許容応力度以内	構造系の一体性確保	
	構造系の変形		許容変形量以内	



ここで、 W_G ：桁死荷重， E_G ：桁慣性力， W_{AB} ：小橋台死荷重， E_{AB} ：小橋台慣性力， P_s ：設計PS， W_{P-AB} ：擬似重力式橋台死荷重， E_{P-AB} ：擬似重力式橋台慣性力， σ_{ps} ：背面盛土による地震時土圧， σ_{ps} ：上載荷重による地震時土圧

図3 PL・PS補強土橋台の耐震設計概念図

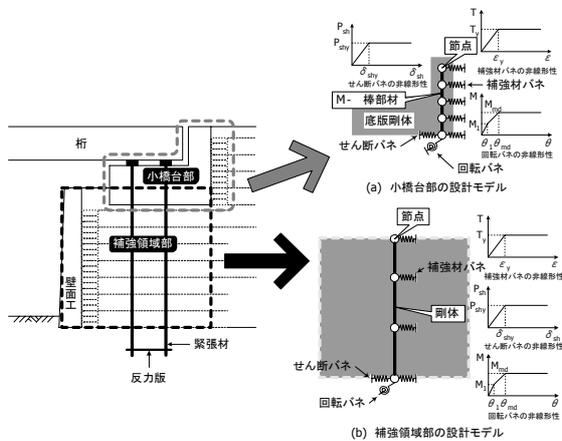


図4 PL・PS補強土橋台の耐震設計モデル