

橋台振動実験の加振波形の影響

(財)鉄道総合技術研究所 正 館山 勝
 鉄道建設公団 正 青木一二三 窪田 元恢
 (株)複合技術研究所 正 堀井克己
 東京大学 正 古関 潤一 龍岡 文夫
 (株)テノックス 正 木村 英樹

1. はじめに

地震時に橋台が大きく変位・変形し、背面盛土が大きく沈下する場合はしばしばある。鉄道においては、橋台との段差が列車の走行安定性に重大な影響を与えるため、特に大地震動に対して合理的な構造の耐震強化橋台を開発することが急務となっている。そこで橋台の耐震性に関する一連の振動実験(例えば1),2),4)を実施した。本報告では、正弦波と不規則波入力に対する無対策橋台の破壊加速度・変形・土圧・応答加速度等の動的挙動を比較した結果を報告する。

2. 実験方法

図-1に実験装置の概要を示す。滑動変形と転倒変形が模擬できるように、フーチング幅(B=390mm,290mm)が異なる2つの橋台を用いた。B=390mmを「滑動型橋台」、290mmを「転倒型橋台」と呼ぶ。加振は、振動数5Hzの正弦波を10秒間毎に50galずつステップ加振した「正弦波加振」と、神戸海洋気象台NS波の主要動を卓越振動数5Hzとなるように時間軸を調整し、さらに最大加速度振幅を100galずつ増加させた「不規則波加振」の2種類で行った。即ち、合計4ケースの実験を行った。

橋台模型は高さ500mmで、アルミ($\rho=26.9\text{kN/m}^3$)を使用し、縮尺比 $\lambda=1/10$ とした。また橋桁模型は、総質量を約200kgとし、橋台側をヒンジ結合、反対側をローラで支持した。模型地盤は粒調碎石を用いて $\rho_r=18.6\text{kN/m}^3$ に突き固めて作成した。模型盛土は、気乾状態の豊浦砂を空中落下法により、 $D_r=75\%$ に作成し、盛土上面には散弾を設置し軌道荷重を模擬した(981N/m^2)。計測機器の配置は図-1を基本として測定した。なお、その他の実験方法については参考文献3)に詳しい。

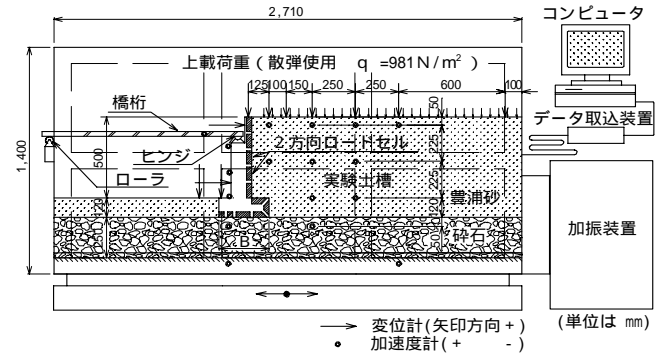


図-1 実験装置の概要

3. 破壊モードの比較

図-2に実施した4ケースの加振終了後の変形状況を示す。同じ橋台形式においては、加振波形を変化させても破壊形状は概ね同様である。正弦波と不規則波で加振加速度が大きく異なるのにも関わらず、すべり面角度はほぼ同程度であり、いずれのケースも物部・岡部式で算出されるすべり面に比べるとかなり急である。また、一旦生じたすべり面の位置は加振レベルを上げて変化せず、加振加速度に対応してすべり角は一定であった。これは別途報告³⁾している「ひずみの局所化によりすべり層内の強度が低下する影響」を示している。

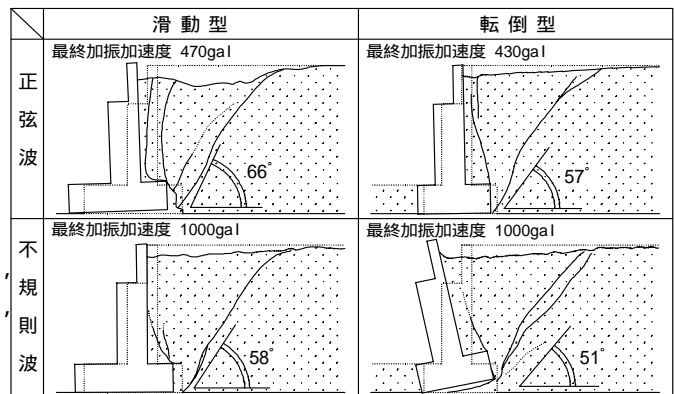


図-2 破壊モードのスケッチ図

図-3は各実験ケースにおける加振加速度と橋台背面盛土の沈下率、並びに橋台の水平変位率を示したものである。例えば、橋台の水平変位量が高さの3%に達した時の加振加速度の比率(不規則波/正弦波)は、転倒型橋台(白抜き印)で、約1.9倍(=720gal/380gal)、滑動型橋台(黒塗り印)で約1.4倍(=680/480)であり、破壊形態によって多少、異なるようである。正弦波のダメージが大きいのは、加振波数(50波)が多いこと、定常振動であることなどの理由による。また図から、橋台の水平変位量と背面盛土の沈下量はほとんど同量であり、極めて相関が高いことも確認出来る。

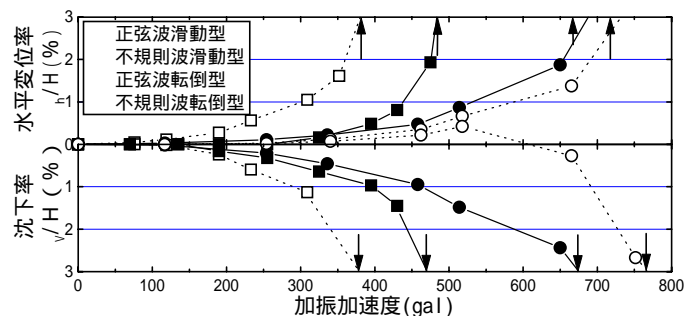


図-3 橋台・盛土の変形性の比較

4. 加速度応答の比較

図-4は、各実験において橋台水平変位率が概ね3%程度に達した時点での加速度応答倍率の等高線を示す。これによると、正弦波の方が不規則波加振に比べて全体的に応答が大きい。特に転倒型の正弦波では橋台頭部で大きな応答が見られる。

図-5に、加振加速度と橋台頭部の応答加速度との関係を示す。正弦波加振の場合は、破壊に至るまでの応答加速度は加振レベルに対して線形的に増加するが、不規則波加振では加振初期では線形的に増すが、加振が進むに連れて応答値が頭打ちになる。このため、不規則波加振では変形の累積が比較的少ないのに対し、正弦波加振では大きく、このため脆性的に破壊する。

5. 時刻歴の比較

図-6は、転倒型橋台の正弦波(400gal)と不規則波加振時(670gal)での各種測定値である。正弦波加振では、橋台変位は加振加速度と同期して累積している。加速度が(-)のピクとなる主動土圧時に壁面変位が最大値(-)を底盤つま先反力が最大値(+)を示すが、主動土圧のピク値は非常に小さい。即ち、加速度が(+)の受働土圧時の最大動土圧によって橋台変位が累積するのではなく、動土圧は小さいが、主動時の力の釣合に応じた橋台の基礎地盤の変形により橋台変位が進行する。

不規則波の場合も同様に、壁面土圧は受働時に最大値を示し主動時には非常に小さなピクを示しているだけであり、橋台変位の累積は、受働時の最大壁面土圧によって生じているのではなく、主動土圧時に累積している。

6. おわりに

今回の結果は、解釈と実験の容易さから正弦波加振が行われる場合が多いが、変位のメカニズムの研究や異なる橋台タイプの耐震性の比較は正弦波加振実験でもできること、地震時動的挙動の詳細な検討には不規則波加振が望ましく、震度法による動土圧は、実挙動の動土圧の最大値とは全く対応せず、また主動土圧に基づいて橋台の安定性を評価するのは困難であること、橋台・裏込盛土・支持地盤からなる系の複雑な動的挙動を明らかにして、その結果に基づいて橋台変位を算定する必要があること、が確認された。

今後は、これらの結果を踏まえて、橋台に関する一連の振動実験を評価し、より合理的な橋台の設計法や耐震強化法を提案したい。

<参考文献>

- 1) 木村, 青木, 米澤, 館山, 古関, 龍岡: 耐震強化した直接基礎橋台の模型振動実験結果, 第35回地盤工学発表会, 2000
- 2) 鈴木, 米澤, 館山, 小島, 龍岡, 木村: 各種補強土橋台に関する模型振動実験結果, 第35回地盤工学発表会, 2000
- 3) 木村, 青木, 米澤, 館山, 北川, 伊藤: 橋台背面盛土の地震時沈下に関する模型振動実験, 第53回土木学会年次学術講演会, 1998
- 4) 古関, 龍岡, 堀井, 館山, 小島, ムナフ: 大きな地震荷重下において擁壁および補強土壁に作用する地震時主動土圧の評価法, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998
- 5) 堀井, 米澤, 光木, 館山, 古関, 龍岡: 耐震強化した直接基礎橋台の履歴応答特性, 第35回地盤工学研究発表会, 2000

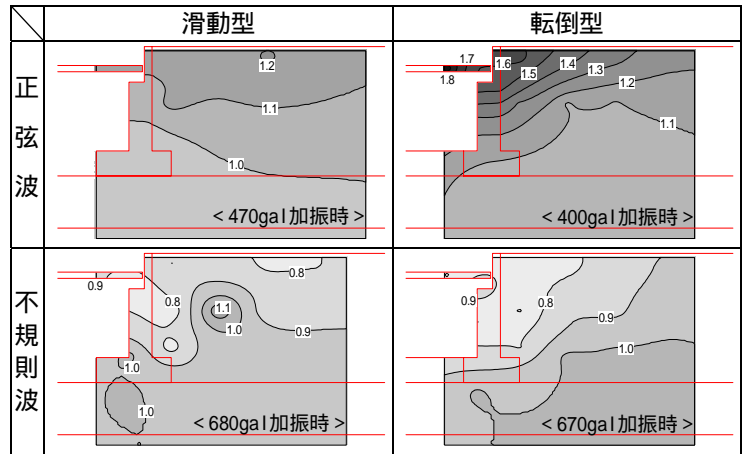


図-4 加速度応答倍率の等高線

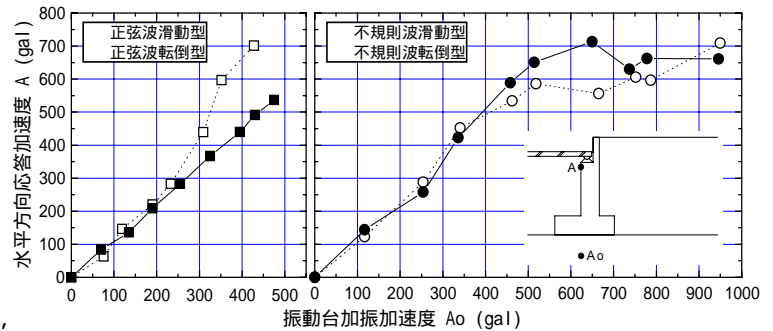


図-5 橋台頭部の応答加速度と加振加速度の関係

- 凡例) (a): 橋台頭部水平加速度
(b): フーチング底盤反力
(c): 壁面水平土圧
(d): 振動台水平加速度

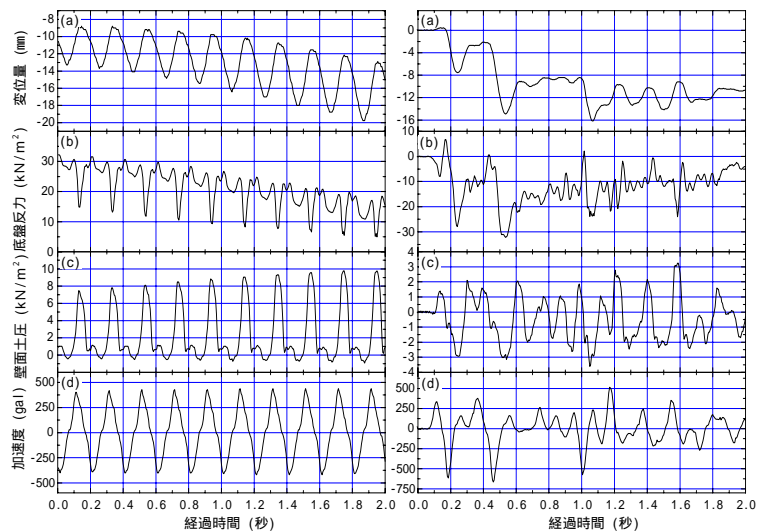
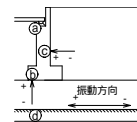


図-6 正弦波と不規則波の時刻歴の例