

鉄道免震用ボルト破断型緩衝ストッパーの振動台実験

京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 日本鑄造株式会社 正会員 出間 進一・原田 孝志
 鉄道総合技術研究所 正会員 池田 学・豊岡 亮洋

1. はじめに

鉄道構造物を免震化するにあたっては、鉄道構造物特有の問題である常時の列車走行性を担保する必要がある。このためには、常時・小規模地震においては固定、大規模地震時には破壊する移動制限装置を免震構造系と組み合わせる必要がある。本研究では、こうした機能を有する移動制限装置として、ボルト破断型緩衝ストッパーを開発するとともに、免震構造と組み合わせた場合の性能を振動台実験により検証した。

2. ボルト破断型緩衝ストッパー

免震鉄道構造物に付加的に導入する移動制限装置に対しては、常時の使用性と地震時の高耐震性とを同時に満足する構造とするため、以下のような要求性能を設定した。

1. 線路方向には免震構造のみとし、移動制限装置は免震支承の応答を阻害しない
2. 線路直角方向に対して、常時および高頻度低レベルの地震（0.15G程度）に対しては、列車走行性に影響する線路直角方向の変位を拘束する
3. 線路直角方向に対して、大規模地震下（0.3G程度以上）においては移動制限装置が破壊し、線路方向・線路直角方向ともに免震構造とする

上記設計仕様を満足する移動制限装置として、図-1に示すような、ボルト破断型緩衝ストッパー（以下ストッパーと表記）を提案した。これは、大規模地震時にボルトが破断し、固定状態から可動状態となるとともに、常時・小規模地震時にはボルトのせん断耐力により変形を抑制するデバイスである。また、ボルトを複数配置することで、破断による急激な耐力低下を防ぐ構造としている。図-2には、静的載荷試験により得られた荷重-変位関係を示す。

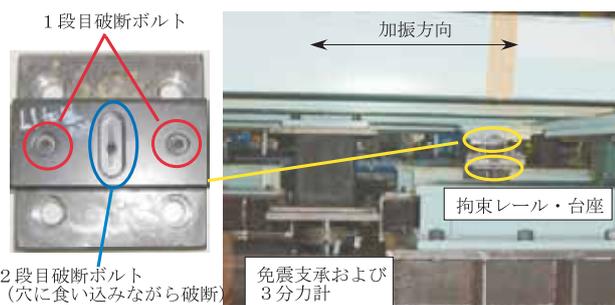


図-1: ボルト破断型緩衝ストッパー

3. 実大振動台および試験体の諸元

本実験は、京都大学防災研究所の大規模強震応答実験装置（実大振動台）により行った。この振動台は、 ± 250 mmのストローク範囲において最大1Gの入力を再現することが可能である。

図-3に示すように、振動台上に免震支承およびスラブ板を設置し、スラブ板にストッパー本体を、振動台にストッパー台座を設置した。台座には、線路方向（加振直角方向）

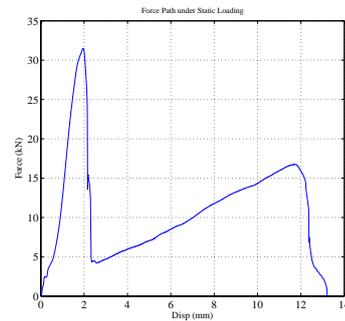


図-2: 静的試験による荷重-変位関係

にスムーズに動作させるために、ガイドレールを設置しており、ストッパーとレールとの間には1.5 mm程度の遊間を確保している。ストッパー本体は振動時に、このガイドレールから反力を受けて破断する構造となっている。

支承はHDR (G4)を用い、3分力計により支承の反力を直接計測した。また、スラブ板重量が約10 tfになるように錘を上載した。なお、本試験体は支承の他に、リニアガイドによってもスラブ板重量の一部を受け持たせる構造としており、これにより免震構造のみの固有振動数は1 Hz程度となっている。

加振入力としては、「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」に規定されている、L1（想定常時、以下L1と表記）およびL2スペクトルII適合波（大規模地震動、L2S2と表記）のうち、G1地盤のものを用いた。最大加速度はそれぞれ137 gal, 500 galとした。

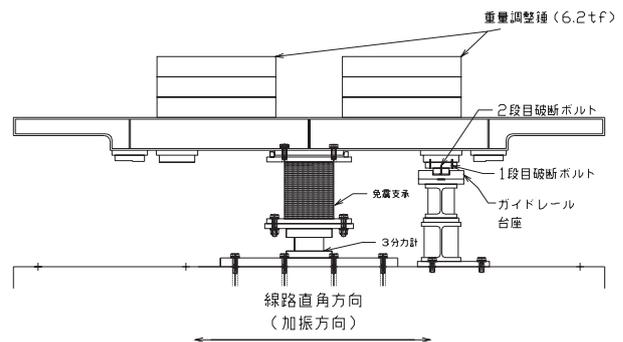


図-3: 振動台への試験体設置状況

4. 実験結果と考察

図-4,6には、それぞれL1(137 gal) およびL2S2(600 gal) 入力時の、スラブの相対変位（=支承の変位、ストッパーの変位）、絶対加速度、および支承の反力を示す。図は、別に行った免震支承のみの場合の試験結果（赤線）との比較となっている。また、図-5,7には、同様にL1, L2S2時の支承およびストッパーそれぞれの変位-荷重履歴を示す。ストッパーの反力は、桁の慣性力から支承の反力を差し引くことにより求めている。

(1) L1 線路直角方向入力

図-5 および図-2 より、小規模地震時にはストッパーの挙動は弾性域にとどまっていることが分かる。また、スラブの変位応答も最大 5 mm 程度に抑制されている。加速度応答にはパルス的な挙動が見られるが、これはストッパーと台座とが衝突した時の衝撃によるものである。

(2) L2S2 線路直角方向入力

L2S2 においては、図-7 から分かるようにストッパーは正側変位時において完全に破断している。図-8 には試験後のストッパーを示す。このように、1 段目のボルトが破断した後、2 段目のボルトが長穴を潰しながら徐々に破断したことが分かる。ストッパー履歴からは、この時ボルトが 2 段に分けて破壊している性状が観察でき、図-2 との比較からほぼ設計値・静的試験の結果と同じ荷重レベルで破壊が生じていることが分かる。

構造系に与える影響としては、変位応答の比較図より、免震のみの場合とほぼ同じ応答が得られている。これは、図-6 の加速度応答より、ボルトが比較的振動初期に破断しているためと考えられる。またこれにより、支承に過大な荷重が作用することなく比較的スムーズに免震化している。

5. まとめ

以上の実験結果より、開発したしたボルト破断型緩衝ストッパー装置は、常時は固定、大地震時には破断という要求性能を満足しており、破壊荷重レベルも、静的試験の結果がほぼ動的特性と一致するとの結論が得られた。今後は、実際の構造系に適用可能なレベルでの供試体設計、静的試験等を行うとともに、免震構造系全体を対象とした試設計等を行う予定である。

謝辞:本実験の実施にあたっては、京都大学工学研究科 中西伸二技術専門官、学生諸兄をはじめ多くの方々にご助力頂きました。ここに記して謝意を示したいと思います。

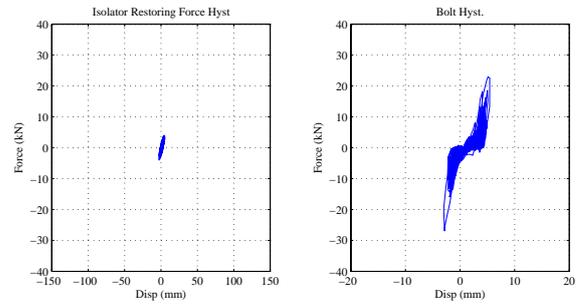


図-5: 支承およびストッパー履歴 (L1G1)

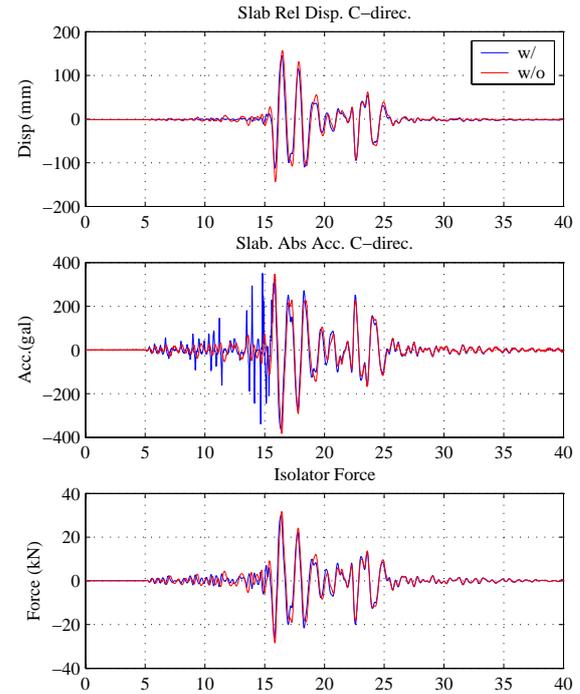


図-6: スラブ相対変位・絶対加速度・支承反力 (L2S2-G1)

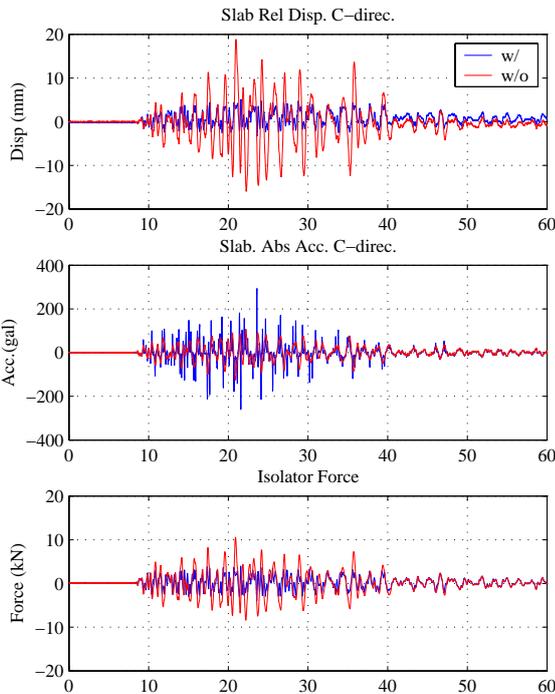


図-4: スラブ相対変位・絶対加速度・支承反力 (L1G1)

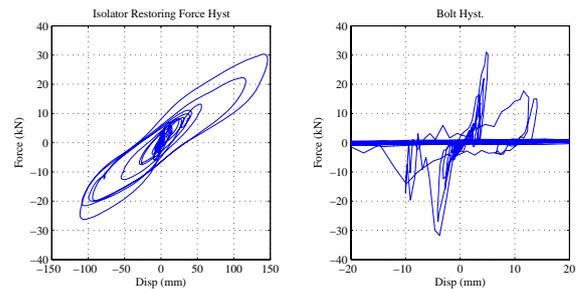


図-7: 支承およびストッパー履歴 (L2S2-G1)



図-8: ストッパーボルト破断状況 (L2S2-G1)