

地震時水平力分散ゴム支承を用いた鋼・複合橋梁の分散機能に関する解析的検討

レールウェイエンジニアリング 正 保坂鐵矢, パシフィックコンサルタンツ 正 松尾 仁
 ○ トーニチコンサルタント 正 久保武明, オイレス工業 非 手塚光広

1.はじめに 橋梁の耐震性向上等から地震時水平力分散ゴム支承（以下、分散ゴム支承）を用いた連続形式が多い。これは従来の固定・可動支承形式では1固定支点到地震時の水平力が集中するため、耐震設計上好ましくないことによる。鉄道橋における耐震設計法は兵庫県南部地震以後、当面の暫定法¹⁾を経て平成11年に耐震標準²⁾が制定され、応答値の算出は動的解析法によるものとし、時刻歴解析法と非線形スペクトル法の2解析法が示されているが、分散ゴム支承を用いる連続桁は水平力分散機能や列車走行安全性が確保可能な安定した品質を供給できる支承製品であるとともに、この機能を満たす設計手法が一体となって機能する必要がある。本稿では、地震の被災毎に制定される設計法が定着するまでの過渡期における高性能支承を用いた連続橋梁の解析的検討を報告する。なお、ゴム支承本体の要求品質については「地震時水平力分散ゴム支承の品質機能に関する現状」で報告する。

2. 非線形スペクトル法と時刻歴解析法 耐震標準では応答値の算定は構造系が比較的単純で1次モードが卓越する場合、非線形スペクトル法を用いて良いとしている。つまり、固定・可動支承の橋梁（図-1，下段）は、桁と橋脚が水平方向に固定されているため地震力による挙動が同じであり、1次の振動モードが卓越することが明白であるため非線形スペクトル法が適用できる。分散ゴム支承を用いた橋梁（図-1，上段）は上部工と下部工が分散ゴム支承で弾性支持されているため、橋梁構造全体に着目すると1次モードが卓越するとは言い難い。従って、非線形スペクトル法ではなく、時刻歴解析法を適用するべきである。

3. 解析 3-1. 解析モデル 解析対象は図-2、-3に示すほぼ等支間を有したA橋梁（2径間連続トラス桁）を用いた。時刻歴解析は図-2に示すとおり、支承は等価線形バネ、橋脚は非線形の棒部材、基礎地盤は非線形バネにモデル化し、地盤種別により指定される地震波²⁾を入力した。また、暫定法の適用時期は図-3に示すモデルで橋脚ごとに得られたの応答値により解析（以下、簡易解析）を行った。簡易解析は非線形スペクトル法と異なる手法で、支承を等価線形バネ、橋脚（基礎地盤を含む）は下部工の設計で得られた荷重変位曲線から等価線形バネにモデル化し、応答震度を上下部工の質量に作用させた。

3-2. 支承のせん断ひずみ量 せん断ひずみ量は常時70%以下、L1地震150%以下、L2地震250%以下²⁾を満足するものとした。

3-3. せん断ひずみ量の規制 軌道構造の機能確保から隣接桁の遊間量制限、橋軸方向と橋軸直角方向に変位規制、そしてレールや道床砂利等の弾性拘束等がある。

4. 解析結果 4-1. 簡易解析 下部工は上部工の作用荷重から橋脚毎単独に構造や応答震度が算出される。従って、支承設計用水平震度は2種類の選択方法が考えられる。つまり、「ケース1」は上下部工ともに最大応答震度を用いる方法、「ケース2」は上部工に最大応答震度を下部工には橋脚毎の応答震度を用いる方法である。「ケース1」

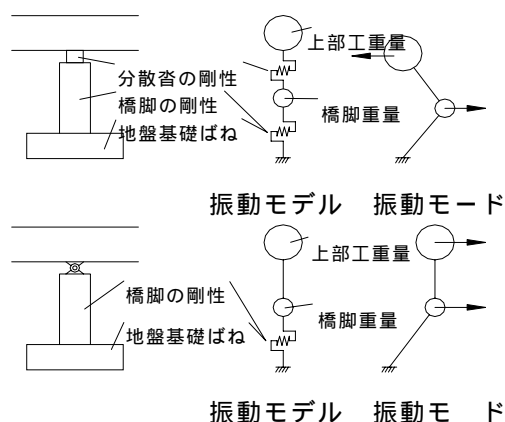


図-1：固定・可動橋梁と分散橋梁のモデル

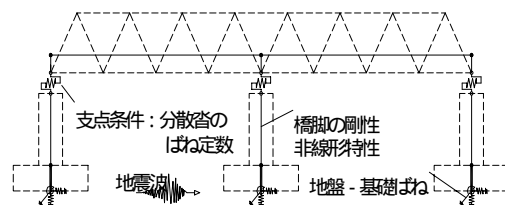


図-2：時刻歴解析のモデル

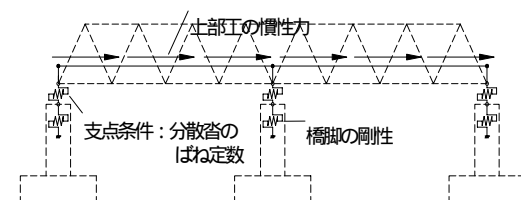


図-3：簡易解析のモデル

キーワード：鉄道橋，地震時水平力分散ゴム支承，時刻歴解析，分散機能の確保

連絡先：〒151-0071 東京都渋谷区本町 1-13-3 Tel:03-3374-4084 Fax:03-3374-4744

は設計水平震度を 1 本化することにより解析を簡素化出来るが、橋脚に対しては下部工の設計応答値以上の水平力が作用することになるため、下部工の設計に問題を生じさせる懸念がある。また、解析モデルと実橋梁構造に整合が図れていない。また、「ケース 2」は上部工と各橋脚で異なる応答震度を用いるため、図-3 に示すモデルから上部工を分断し各橋脚独自の応答値により計算することになる。従って、支点間距離にずれが生じゴム支承の収斂計算を行わずれ量を解消する必要がある。表-1 に簡易解析による応答変位量を示すが、ケース 2 は収斂前の値を示した。前記より、上下部工の設計の整合を明確に図り支承の要求性能を満足するためには、簡易法ではなく時刻歴法を用いるべきである。

4-2. 時刻歴解析 支承の構造諸元は上部工の作用力から初期仮定値を設定し、時刻歴解析によりせん断ひずみ量が所定の機能を満足できるよう収斂して求めた（表-2 および-3 参照）。簡易解析で求めた支承構造を時刻歴解析で算定すると許容せん断ひずみ量(250%)を超過し複数回の試算の結果収斂できた。しかし、分散機能は軌道設備機能確保から隣接桁との遊間量の制限があり支承せん断ひずみ量は 140% となり、試算の結果、端支点支承構造は分散機能確保から面積比 1.9 で当初計画と大きく異なった。本解析でも下部工の構造諸元は規定値として与え、分散機能確保の収斂には支承のみの対応である。このような設計手法は耐震性向上に寄与すると言えるのであろうか。

5.まとめ 水平力分散ゴム支承を用いた連続桁の解析の例について述べたが、簡易解析は暫定期間において地震の影響を考慮した設計であるが、耐震標準による設計に簡易解析を安易に用いると正確に分散機能が確保できないことがある。耐震標準では時刻歴解析を採用すべきと言及されていないが、振動特性を的確に評価し、支承の要求性能を満足させるためには、時刻歴解析を用いるのが妥当であると考えられる。

耐震性向上に高性能支承を用いた連続橋梁は上・下部工を含めた構造、地盤条件、隣接桁や軌道等の構造等々を考慮したモデルで解析しなければならない。いずれかの機能がないがしろになると、水平力分散機能が一点固定という特定の橋脚に集中的な荷重が作用する危険な現象が生じることとなる。特に、下部工の構造耐力に大きく影響する免震支承は軌道設備等による拘束条件や、列車走行安全性のために設けているサイドブロックの拘束による挙動と、免震機能への影響評価を解明することが必要で、下部工設計者には大きな設計照査上の技術的重みが付加される構造である。最後に、本文をまとめるにあたりパシフィックコンサルタンツ八巻康博課長・武居秀訓氏、日本交通技術金木隆部長、八千代エンジニアリング荒木信博氏、オイレス工業伊関治郎氏・川原壮一郎氏・竹ノ内勇氏の協力を頂いています。

【参考文献】1)例えば、日本鉄道建設公団：鋼鉄道橋に用いる地震時水平力分散シュー設計施工の手引き（案），平成 11 年 3 月 2) 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，平成 11 年 10 月 3) 保坂，松尾，伊関，池永：地震時水平力分散機能を有するゴム支承の構造的検討，土木学会年次学術講演会，2003.9 4) 保坂，松尾，石川，久保：地震時水平力分散ゴム支承の品質機能に関する現状，土木学会年次学術講演会，2004.9

表-1：簡易解析による応答変位量

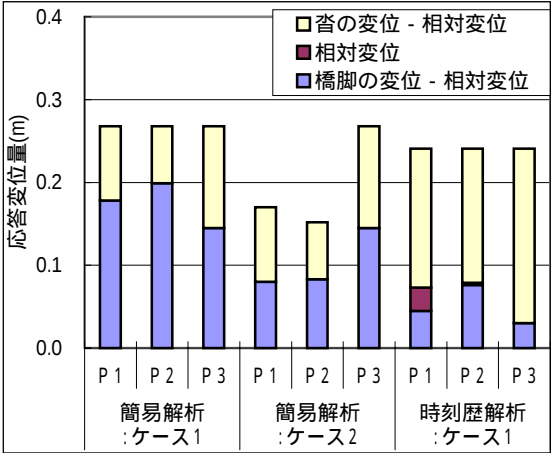


表-2：時刻歴解析による応答変位量

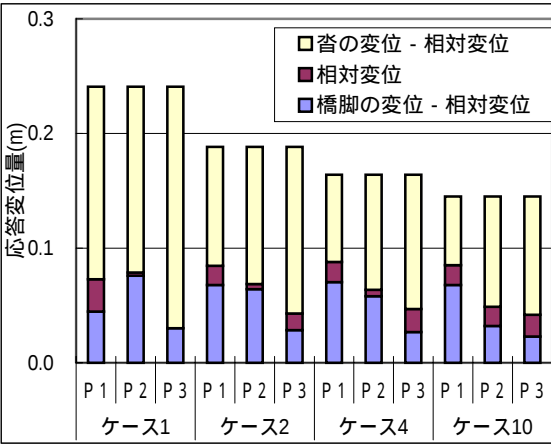


表-3：時刻歴解析に用いたゴム支承の諸元例

	検討ケース1		検討ケース2	
	端支点	中間支点	端支点	中間支点
ゴム形状	□800	○1600	□1050	○1750
	14mm×6	28mm×3	22mm×4	31mm×3
鉛ブラゲ	φ110, 4本	φ195, 4本	φ150, 4本	φ220, 4本
	検討ケース4		検討ケース10	
	端支点	中間支点	端支点	中間支点
ゴム形状	□1200	○1900	□1100	○1700
	24mm×4	35mm×3	22mm×4	24mm×3
鉛ブラゲ	φ170, 4本	φ240, 4本	φ150, 4本	φ255, 4本