

## 免震支承の鉛プラグの応力緩和の影響を考慮した地震応答解析

熊本大学工学部社会環境工学科 学生会員 ○矢口 秀明  
 オイルス工業株式会社 正会員 宇野 裕恵  
 JIP テクノサイエンス株式会社 正会員 柚木 浩一

熊本大学大学院 正会員 松田 泰治  
 エイト日本技術開発株式会社 正会員 宮本 宏一

### 1. はじめに

地震時における温度変化に起因する桁の伸縮による道路橋の耐震性の影響評価は、平成 2 年の道路橋示方書改訂時に設計で考慮すべき項目から削除された。最近ではゴム支承や免震支承の適用の一般化により、橋梁の多径間化が進んでいる。しかし既往の研究より、ゴム支承を用いた多径間連続橋では温度変化に起因する桁の伸縮により支承が大きくせん断変形し、それに起因して橋脚に大きな応力が生じることが報告されている。そこで本研究では免震支承(鉛プラグ入り積層ゴム)を用いた多径間連続橋を対象とし、温度変化等による桁の伸縮を考慮した場合に支承ならびに橋脚躯体に与える不静定力の影響を把握することを目的として検討を行った。また、免震支承(鉛プラグ入り積層ゴム)に不静定力が長時間作用すると、鉛プラグの応力緩和が起こることが知られている。そこで免震支承の鉛プラグの応力緩和を考慮し、同様に評価・検討を行い、これを考慮した場合としていない場合との結果を比較・検討することでより厳密な地震応答解析を行った。

### 2. 検討対象橋梁と解析条件

#### 2.1 解析モデルと解析条件

図-1 に示す多径間連続橋(橋長 480m の 12 径間連続 PC 箱桁橋)を検討対象橋梁とした。それぞれ免震支承部はバイリニア型の水平バネで置き換え、鉛直は剛とした。橋脚は非線形の 2 次元はり要素とし、橋脚基部に弾塑性回転ばねを設けた。これらの復元力特性として武田モデルを用いた。桁は線形の 2 次元はり要素で、基礎は道路橋示方書に基づき、水平、鉛直、回転および水平と回転の連成ばねでモデル化した。それを図-2 に示す。部材の減衰定数は桁を 3%、橋脚を 2%、基礎を 10%とした。減衰タイプ

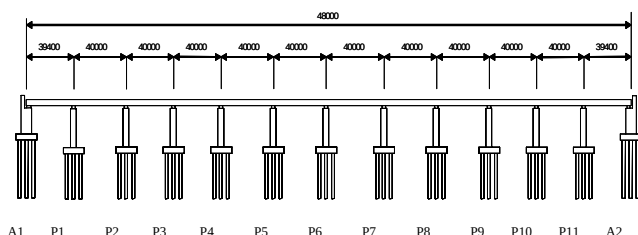


図-1 12径間連続 PC 箱桁橋

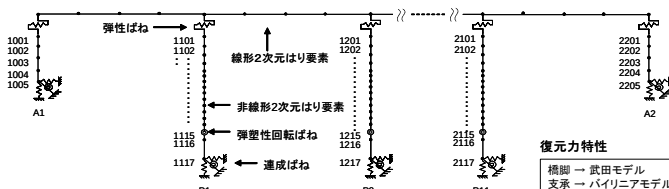


図-2 12径間骨組解析モデル

はそれぞれ Rayleigh 減衰とし、第一基準振動数と第二基準振動数の組み合わせは、橋脚基部において過大な粘性減衰を示さないように 1 次の固有振動数と 50Hz の組み合わせを採用した。解析ソフトは汎用構造解析 T-DAPⅢを用いた。数値計算方法はそれぞれ Newmark'  $\beta$  method ( $\beta=0.25$ )で、時間刻みは 0.002 秒とした。検討用の入力地震動は道路橋示方書に示される標準波 6 波である。

#### 2.2 温度変化等の応答評価

図-3 に示すように温度変化等による桁の伸縮は橋桁の両端に温度変化等により生じる不静定力と等価な節点力を作用させることにより考慮した。また、橋桁には伸長と圧縮の力が作用するが、地震波がどのような向きから来ても、橋桁に生じる不静定力は伸長より圧縮力の方が大きいので、本検討では圧縮力のみを考慮している。地震の橋脚への影響は、両端橋脚である P1・P11 が最も大きいため、この 2 つの橋脚を中心に検討を行った。温度変化等による桁伸縮を考慮した際に生じる免震支承の初期せん断ひずみは 0~70%まで 10%刻みで 8 段階設定した。こうした静的解析で求めた応力、変位を引き継ぎ、直接積分法による時刻歴応答解析を行った。

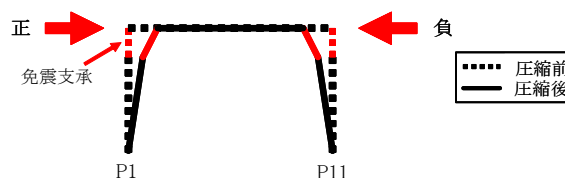


図-3 節点力のイメージ図

#### 2.3 鉛プラグの応力緩和を考慮した応答評価

既往の研究では、支承部の変形量は上記 2. 2 で述べたように、橋桁の両端に不静定力と等価な節点力を与えることによって橋桁が伸縮する等によって生じるバネ変形量の値を引き継ぎ、動的解析を行った。しかし免震支承は長時間にわたり不静定力が作用す

る場合には鉛の応力緩和が生じる。図-4 に免震支承（鉛プラグ入り積層ゴム）の変形直後と、長時間経過後の鉛の応力状態を示している。そこで本研究では、温度変化等の不静定力による節点力を引き継ぎ、鉛プラグの応力緩和を考慮して事前に節点力を与えるといった二度の静解析を行った。具体的には初期せん断ひずみ 0~70%となるように桁に節点力を与え、次に降伏変位 (0.01458m) に相当する量だけ戻すよう、逆向きに節点力を与える。これら二回の静解析の結果を引き継いで支承が変形したところから、応力緩和を考慮した場合の時刻歴応答解析を行い、鉛の応力緩和を考慮していない場合と比較した。図-5 に免震支承の水平力と変形量の関係を示している。



図-4 免震支承の鉛の応力緩和

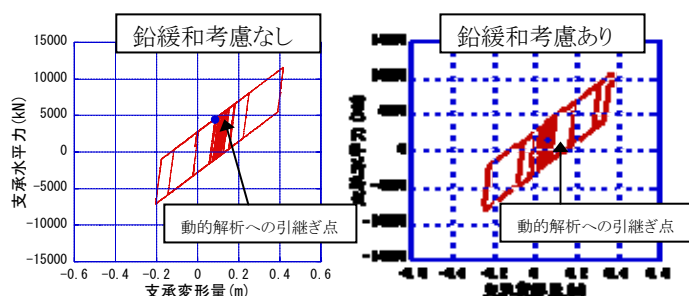


図-5 P1 橋脚の免震支承の水平力と変形量の関係 (Type II-II-3 初期せん断ひずみ 70%)

### 3. 解析結果と考察

図-6 に示すのは二回の静解析を引き継いだ後に行った P1 (P11) 橋脚の支承変形量と支承水平力の時刻歴応答解析の結果である。橋脚への影響の最も大きい初期せん断ひずみ 70%のケースを示す。一回目の静解析で初期せん断ひずみ 70%に相当する 0.0819m 変形する。二回目の静解析で降伏変位に相当する 0.01458m 戻すように、逆向きに節点力を与える、それらの静解析の結果を引き継ぎ、支承が 0.06732m 変形したところから時刻歴応答解析を実施した。

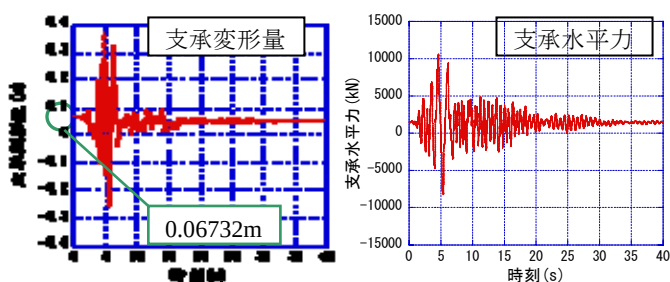


図-6 2段階静解析の結果を引き継いだ時刻歴応答解析の支承の応答時刻歴 (P1 橋脚 Type II-II-3 初期せん断ひずみ 70%)

図-7 に示すのは、P1・P11 橋脚における、免震支承内部の鉛プラグの応力緩和を考慮した場合と考慮しない場合の応答塑性率と初期せん断ひずみとの関係である。特に橋脚への影響の大きい Type II 地震動のみを用いての検討を行った。全体的には初期せん断ひずみが増加すると最大応答塑性率が増加しており、鉛の応力緩和を考慮していないときと同様の傾向が見られる。最大応答塑性率は地震動 Type II-II-3 を用いたときが最も大きいことが確認された。初期せん断ひずみ 10%のときは、不静定力を与えた段階で鉛プラグが塑性域に達しておらず、鉛プラグの応力緩和が発生しないため、初期せん断ひずみ 0%、10% 時の最大応答塑性率は応力緩和を考慮しない場合の値と同じである。初期せん断ひずみ 20%~70%は不静定力により鉛プラグが塑性域に入り、鉛プラグの応力緩和の影響が現れるため、P1・P11 橋脚の最大応答塑性率は鉛の応力緩和を考慮しない場合より小さくなっていることが確認された。また、図-7 のグラフより、鉛の応力緩和を考慮した場合、免震支承を用いた多径間連続橋の橋脚への最大応答塑性率は P11 橋脚において、1.5 前後だということが確認され、最大応答塑性率は P1、P11 ともに全体的に減少していることが確認された。したがって、鉛の応力緩和を考慮していない場合のほうがより厳しい条件のもと安全側に評価しているといえる。

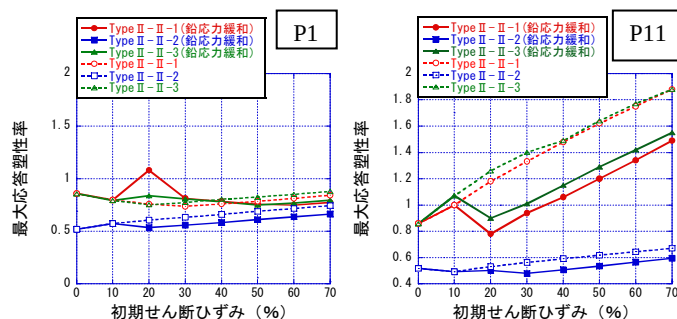


図-7 P1、P11 橋脚の免震支承における通常時と鉛の応力緩和を考慮した場合の最大応答塑性率と初期せん断ひずみの関係の比較

### 4. おわりに

解析結果より、温度変化に起因する桁の伸縮に基づく不静定力は橋脚の応答塑性率等の増加に影響を与えることが確認された。鉛プラグの応力緩和を考慮して検討した場合もほぼ同様の傾向が確認され、全体的に応答塑性率は小さくなり、橋脚への影響は鉛の応力緩和を考慮したほうが小さい結果となった。

### 5. 参考文献

- (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、2004
- (社)日本道路協会:道路橋支承便覧