

## 落橋防止構造に作用する地震力と信頼性評価

高田機工 正会員 宝角 正明 神戸大学 フェロー 高田 至郎  
 神戸大学 正会員 ラダン イヴァノヴ

### 1. はじめに

落橋防止構造は、衝撃力の緩和や変形性能の向上が図れる PC ケーブルの使用が多い。道示では耐力を算出する設計地震荷重は、端支点上に作用する死荷重反力の 1.5 倍に相当する水平力で、割増し 1.5 を考慮した許容応力度で設計してよいと一律に規定されており、その根拠も不明確である。そこで、落橋防止構造に使用する設計地震荷重の信頼性を、限られた橋梁上下部工や支承や基礎地盤および地震動ではあるがこれらを全体モデル化し、3次元 DEM-FEM 法による時刻歴応答解析法を用いて、支承破壊後の落橋防止構造に作用する力と支承の摩擦係数や地震動の同時作用性との関係および動的効果や一連の挙動に対する工学的評価式を提案し、適切に評価することを目的とする。対象橋梁を図 - 1 に示す。

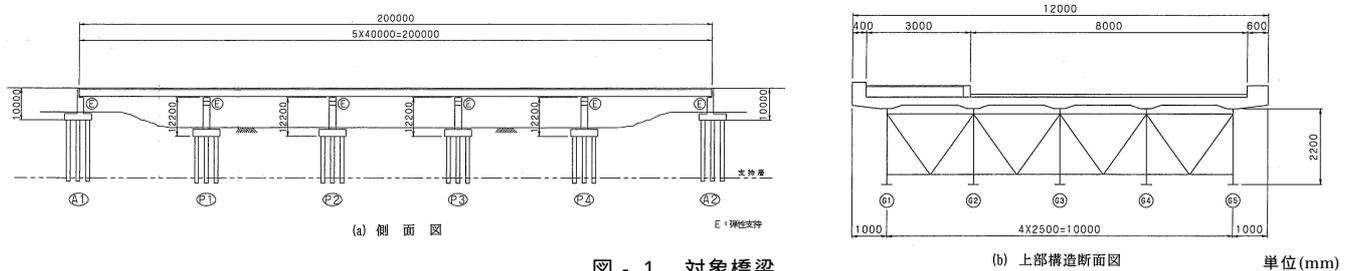


図 - 1 対象橋梁

### 2. 解析結果

解析は鷹取 NS 波を使用し、全ての構造物パラメータは一定とする。また最大加速度は  $2\text{m/s}^2$  から  $1\text{m/s}^2$  刻みに増加させ  $9\text{m/s}^2$  まで計算する。入力地震方向は、橋軸方向に設定し摩擦係数は 0.3 とする。解析結果は、表 - 1 で要約される。表中の \* 印は、支承が健全な状態を示すか、あるいは落橋防止構造に、まだ力が作用していない状態を示す。第 1 のパターンは、解析ケース A53, A57, A58 で見られる。橋脚上と橋台上の支承が殆ど同時に破壊し、その後すぐに A1 橋台側の落橋防止構造に力が作用する。そして A1 橋台側の落橋防止構造が破壊しても、A2 橋台側の落橋防止構造は健全である。第 2 のパターンは、解析ケース A55, A39, A56 で見られる。橋脚上の支承が破壊し、少し時間差があり 2 ~ 3 秒後に橋台の支承が破壊する。この場合も A2 橋台側の落橋防止構造は健全である。また、摩擦係数を 0.1 ~ 0.4 に変化させた場合、その結果を、それぞれ表 - 2 と図 - 2・3 に示す。もし支承が破壊すると考えるなら、一般的に起こるであろう加速度  $5.75\text{m/s}^2$  の場合は、パターン 1 であり、当然支承の摩擦係数が減少すると落橋防止構造の作用力は増加する。

### 3. 落橋防止構造の PC ケーブル作用力を計算する工学的手法

運動エネルギー -  $E_k$  (動作エネルギー - ) と位置エネルギー -  $E_p$  (変形エネルギー - ) との合計が、全体エネルギー -  $E_t$  と釣合うことに基づいている。パターン 1 の進展過程を上部工エネルギーの釣合いに基づいて説明する。

段階 1: パターン 1 は、全体エネルギーが運動している瞬間から始まる。  $E_k \text{ max}, E_p=0, E_t=E_k$

段階 2: 橋脚支承は、最終位置エネルギー  $E_b$  へと増加する。

段階 3: 橋脚天端と上部工の間で、摩擦によるエネルギー  $E_{f1}$  が損失する。この時橋台支承の位置エネルギーは増加する。

段階 4: 橋台支承は、最終位置エネルギー  $E_s$  へと増加する。

段階 5: ケーブル作用力が伝達されるようになるまで、全ての支承エネルギー  $E_{f2}$  は摩擦により損失する。

段階 6: 全ての支承摩擦エネルギーが損失した後、ケーブルには作用力が伝達され、そして増加しその

キ - ワ - ド: DEM 解析, 動的解析, 落橋防止構造

連絡先: 〒556-0015 大阪市浪速区敷津西 2 丁目 1 番地 12 号 高田機工(株) TEL.06-6649-5170 FAX.06-6649-2439

最大値に達する．  $E_p \max E_k=0 E_t=E_p$

ケーブル作用力は  $F = -gm\mu + \sqrt{(gm\mu)^2 + kmv_0^2}$  ．  
 またケーブルに作用する速度は  $v_0 = \sqrt{v_i^2 - 2E_b/m}$  となる．

$g$ :重力加速度,  $m$ :上部工質量,  $\mu$ :支承の摩擦係数,  $v_i$ :平均速度  
 $k$ :ケーブルのバネ定数,  $E_b$ :支承に蓄積されるエネルギー

6. まとめ

- (1) 連続桁橋の破壊機構は、橋脚と橋台支承が殆ど同時に破壊するパターン1と、橋脚支承破壊後2～3秒後に橋台支承が破壊するパターン2に分類できる。ただし落橋防止構造は、予想外の下部構造や支承が破壊する場合のみ想定しておりフェイルセフ的な役割を担っている。このことから簡単に支承が破壊するような超大規模地震を想定することは、現実的でない。この事から当然パターン1のみ考えることとなる。
- (2) 道示では1方向成分の地震動を独立して作用させているが、2方向成分の地震動が同時に作用すると、落橋防止構造に1.6倍程度の大きな力が作用する。さらに上下方向も同時に入力したが支承破壊後も殆ど変化しなかった。
- (3) 単径間桁橋は、落橋防止構造が作用するとき、その速度が連続桁橋に比較して2倍程度も速いので、作用力も意外に大きい。ただ現実問題として、地盤の液状化などにより一方の橋台が大きく水平移動しない限り、桁遊間はそれほど広くないため主桁と橋台のパラペットが衝突してしまう。
- (4) 解析結果を踏まえ、落橋防止構造に作用する力を運動、位置、弾性および摩擦エネルギーの釣合いにより求める工学的手法を提案した。道示で規定している端支点死荷重反力の1.5倍は、その根拠も不明である。本研究によればさらに1.5倍程度の大きさが必要と思われる。

表-1 解析結果

解析ケース	最大加速度 [m/s <sup>2</sup> ]	支承の破壊時間[s]		落橋防止構造の最大作用力と時間			
		橋脚	橋台	A1橋台側		A2橋台側	
				作用力[kN]	時間[s]	作用力[kN]	時間[s]
A37	2	*	*	*	*	*	*
A51	3	9.69	*	*	*	*	*
A52	4	7.41	7.55	*	*	8557	9.84
A53	5	6.75	6.9	2895	7.15	*	*
A57	5.5	6.73	6.84	18308	7.12	*	*
A58	5.75	6.72	6.82	22854	7.1	*	*
A54	6	5.02	7.1	*	*	*	*
A55	7	4.95	7.06	7633	7.29	*	*
A39	8	4.43	6.99	15697	7.22	*	*
A56	9	3.91	7.03	21117	7.25	*	*

表-2 加速度 5.75m/s<sup>2</sup>時

解析ケース	摩擦係数	支承の破壊時間[s]		落橋防止構造の最大作用力と時間			
		橋脚	橋台	A1橋台側		A2橋台側	
				作用力[kN]	時間[s]	作用力[kN]	時間[s]
A59	0.1	6.72	6.81	34530	7.12	38345	7.99
A60	0.2	6.72	6.82	28687	7.09	10824 21605	8.31 9.73
A58	0.3	6.72	6.82	22854	7.1	*	*
A61	0.4	6.72	6.82	16501	7.11	*	*

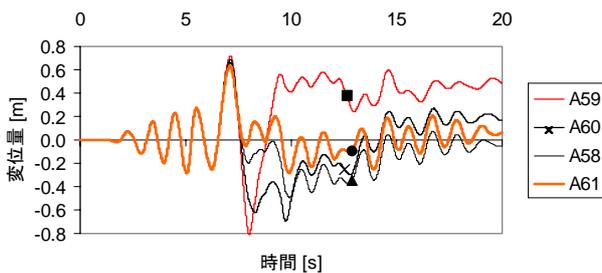


図-2 PCケーブル変位量と時間の関係

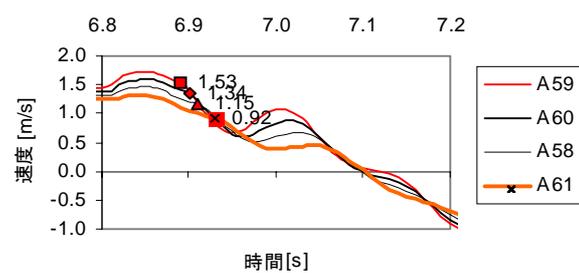


図-3 上部工速度と時間の関係