

3DSoleを桁端部に用いた橋梁の耐震補強

技術本部	開発技術部	川畑智亮
技術本部	開発技術部	吉松慎哉
技術本部	開発技術部	桐川 潔

1. はじめに

施工条件の厳しい河川内での橋梁の耐震補強は、一般的に用いられている仮締め切りによる橋脚補強方法では工費が高くなるという課題があり、低コストでの耐震補強技術の開発が求められている。近年、両端部に橋台を有する多径間橋梁において、桁衝突による地震慣性力の低減効果を考慮した耐震補強技術の研究がなされている。これらは、今までの橋脚補強のように耐力を向上させるのではなく、上部構造の変位を抑制することで地震時の各橋脚にかかる負担を低減させ、橋脚補強の必要性を無くす、または低減する方法である。

今後、このような耐震補強方法の開発が求められることが予想される。そこで、桁端部にエネルギー吸収量の大きい3次元複合材料“3DSole”(写真-1、図-1)を緩衝材として設置し、上部構造の応答を低減する耐震補強工法の実施している。本稿では、3DSoleの特性をモデル化した橋梁全体系の動的解析による耐震検討結果について述べる。

2. 3DSoleとは

3DSoleは、弾性体であるガラス繊維ロッドを3次元的に組み、その隙間をエポキシ樹脂で充填して固めた複合材料である。圧縮力に対してロッドが強化材として働き、高い耐荷重性を示し、可撓性のマトリクスゴムが衝撃エネルギーを吸収して振動を減衰させる材料である。特に変形能に優れており、潰れるまでに吸収するエネルギーが大きい点の特徴である。

図-2に3DSoleの繰返し圧縮荷重試験による応力-ひずみ関係(青・赤実線)を示す。動的解析では、3DSoleを図-2の黒点線をもとに非対称スリップ型バネとしてモデル化することとした。

3. 解析諸元

3DSoleによる耐震補強効果の検討は、レベル2地震動について

て橋軸方向の動的解析で行う。解析を行う対象橋梁として、(1)反力分散沓を有する3径間連続PC橋を3DSoleにより耐震補強したケース、(2)2連の3径間連続鋼桁橋において、2連の上部構造を一体化し、沓の取替えによる水平反力分散と3DSoleによる耐震補強を併用したケースの2ケースについて検討した。

解析モデルはそれぞれ図-3、図-4に示すような2次元骨組モデルとし、非線形時刻歴応答解析を行った。各ケースの解析諸元を以下に示す。

ケース(1) : 3径間連続PC橋 (図-3)

3DSoleの設置遊間を50~100mm、1箇所あたり28個設置として4つの解析モデルを検討する。

- (a) 緩衝材なしで橋台への衝突なし
- (b) 3DSole設置、設置遊間最小時(50mm)
- (c) 3DSole設置、設置遊間最大時(100mm)
- (d) 緩衝材なしで設置遊間100mm

ケース(2) : 2連の3径間連続鋼桁橋 (図-4)

3DSoleの設置遊間を30~100mm、1箇所あたり70個設置として4つの解析モデルを検討する。

- (a) 緩衝材なしで橋台への衝突なし
- (b) 弾性支承に変更、緩衝材なしで橋台への衝突なし
- (c) 支承変更、3DSole設置、設置遊間最小時(30mm)
- (d) 支承変更、3DSole設置、設置遊間最大時(100mm)

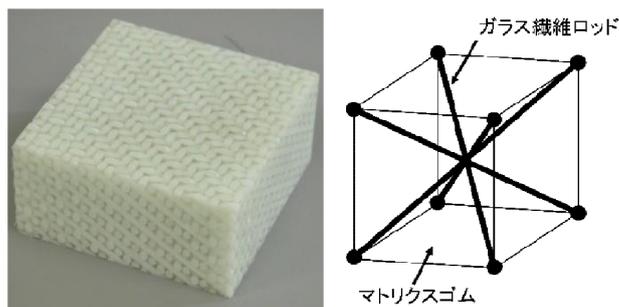


写真-1 3DSole

図-1 3DSole

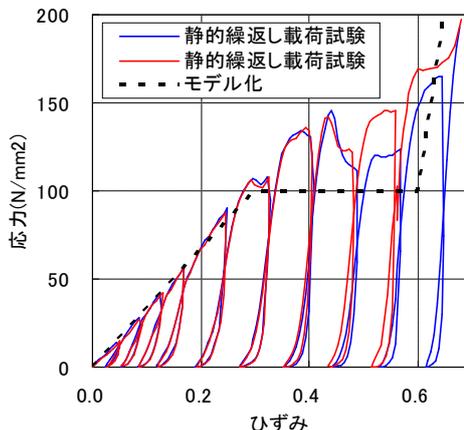


図-2 3DSoleの応力-ひずみ関係

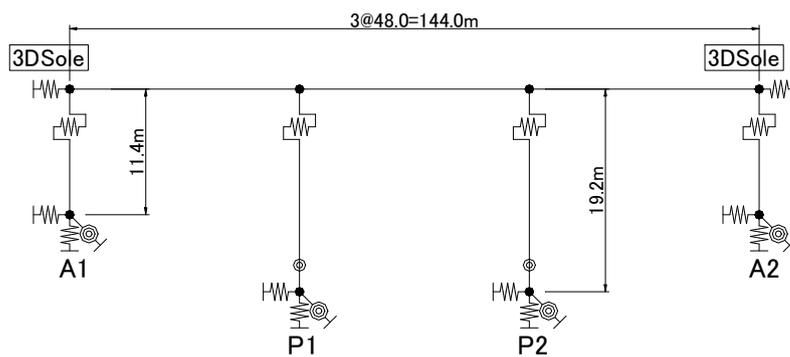


図-3 解析モデル(1)

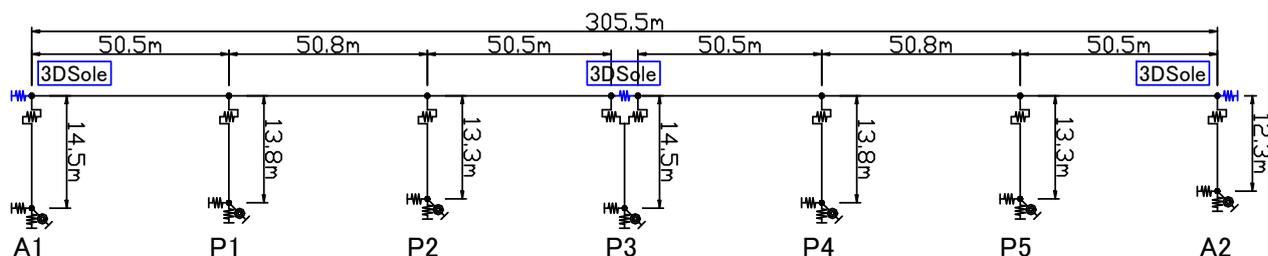


図-4 解析モデル(2)

4. 解析結果

図-5 にケース(1)の解析モデル(a)~(c)の P1 上部の時刻歴応答変位を示す。3DSole を設置したときは、桁に設置遊間以上の変位が生じた場合は 3DSole によって変位が抑制されるため、変位がある一定量を超えると変位量が低減されていることがわかる。また、設置遊間量が小さい方が変位を抑制し始めるのが早く、3DSole の補強効果がより顕著に表れているといえる。

表-1 にケース(1)の結果一覧表を示す。3DSole 補強モデルである(b), (c)を補強前のモデル(a)と比較すると、最大応答値が補強効果により変形量が低減されるのが分かる。また、次にモデル(d)は補強前の状態で上部構造が 100mm 変位すると橋台に衝突し桁の応答軸力が急激に上昇すると仮定したものである。変形量についてはモデル(b), (c)と同様に抑えられているが、桁端部に作用する軸力は大きくなっていることから、3DSole が緩衝材として十分機能していることが分かる。

表-2 にケース(2)の結果一覧表を示す。モデル(a)では固定支承である P2 および P5 橋脚が終局に至る結果となっている。モデル(b)では、全橋脚が終局状態を越える結果となった。水平反力分散沓により各橋脚の水平力の分担を変更した後、3DSole で耐震補強したモデル(c)および(d)では、橋脚を補強せずに橋脚基部の応答塑性率を許容塑性率以下とすることが可能となった。

5. まとめ

- (1) 時刻歴応答解析の結果、3DSole を設置したモデルでは橋脚の応答変位が小さくなり、耐震補強効果が認められ、橋脚の補強が必要であった橋梁において、橋脚補強を行わないで耐震補強が可能となった。
- (2) 3DSole を設置した場合と 3DSole なしで桁が直接衝突する場合とを比較して、3DSole を設置することで桁端部の作用軸力が低減し、3DSole が緩衝材として十分機能したと言える。
- (3) 3DSole の設置遊間が小さい方が、桁の変位を抑制し始めるのが早いので、3DSole による補強効果が高いことが分かった。
- (4) 地震エネルギーを吸収させるために 3DSole を多く設置した場合、桁端部に作用する軸力が大きくなり、上部構造である桁の局所的な破壊や座屈が懸念される結果となった。
- (5) 3DSole の設置遊間を小さくすることによって、上部工の変位を早い段階から抑制し、応答値を小さくできることが確認できた。これによって設置する 3DSole の個数を抑え、桁端部に作用する軸力を低減させることが可能であると思われるが、その詳細については改善の余地があり現在検討しているところである。

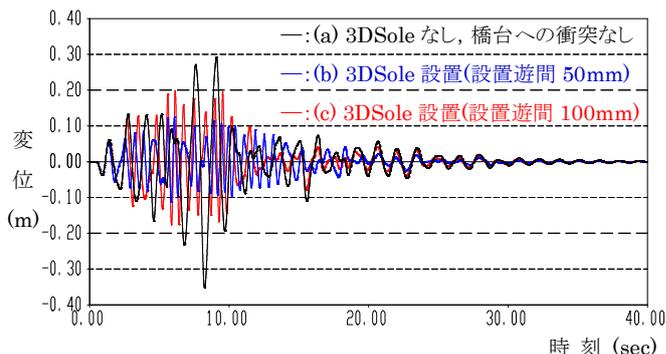


図-5 時刻歴応答変位

(P1 上部—地震波: 兵庫県南部地震 神戸海洋気象台 NS 成分)

表-1 ケース(1)の解析結果

解析モデル名		(a)	(b)	(c)	(d)
3DSole 数量 (個)		なし	28	28	なし
桁遊間 (mm)		—	50	100	100
最大応答値	3DSole 破壊状態	—	弾性	降伏	—
	橋脚基部非線形状態	ひび割れ	ひび割れ	ひび割れ	ひび割れ
	桁端部作用軸力 (MN)	—	75.6	75.6	101.4
	塑性ヒンジ部回転角 ($\times 10^{-3}$ rad)	2.522	1.848	2.161	1.579

表-2 ケース(2)の解析結果

解析モデル名		(a)	(b)	(c)	(d)
支承構造		Fix, Move	分散沓	分散沓	分散沓
3DSole 数量 (個)		なし	なし	70	70
桁遊間 (mm)		—	—	30	100
最大応答値	3DSole 破壊状態	—	—	弾性	降伏
	橋脚基部非線形状態	終局	終局	ひび割れ	ひび割れ
	桁端部作用軸力 (MN)	—	—	131.5	157.6
	橋脚基部塑性率	∞	∞^*	0.691	0.989
許容塑性率 (全橋脚・橋台)		—	—	1.000	1.000

* 値が 10^5 以上のものは ∞ とした

Key words : 3DSole, 耐震補強, エネルギー吸収, 変位抑制