

間詰材充填工法による PC 斜張橋の地震応答低減効果

九州工業大学 学生会員 阿部弘典 九州工業大学 正会員 幸左賢二
 大日本コンサルタント(株) 正会員 田崎賢治 阪神高速道路公団 正会員 西岡 勉

1. はじめに

既設の耐震補強では、特に河川橋や湖面橋等大規模な仮締切りが必要となる施工条件の厳しい橋梁において、一般的な耐震補強方法では多額の工事費を必要とするといった課題がある。したがって、限られた予算の中で、これまでの耐震補強方法に比べてより合理的、経済的な耐震補強技術の開発が求められている。筆者らはこれまで両端部に橋台を有する桁橋を対象に、桁遊間部にゴム等の間詰材を充填し、橋台部の水平抵抗を考慮する耐震補強工法を提案し、その応答低減効果を明らかにしてきている¹⁾。本研究では、図-1 に示す河川内に主塔を有する既設のPC斜張橋の主桁と端部橋脚の間に間詰材を充填し、主塔部に作用する地震慣性力を端部橋脚に分散させる場合の効果について検討した。

2. 対象橋梁

対象橋梁は図-1 に示すような橋長 400m の既設の PC2 径間連続斜張橋である。主塔主桁部の結合条件は剛結となっており、端部橋脚は可動支承である。主塔は逆 Y 字型の RC 柱で高さ 90.5m 斜材は 2 面吊りである。主桁は桁高 2.8m、全幅員 20.7m の斜めウェブを有する 4 室箱桁断面である。また、主塔部橋脚は幅 5.5m、長さ 18.0m の小判型断面の RC 柱であり、基礎構造はケーソン基礎（長さ 23.0m）である。一方、端部橋脚は 4.5m の正方形断面の RC 柱であり、基礎構造はケーソン基礎で（長さ 20.0m）である。本橋は河川を 24.5° の斜角で渡河する平面線形であることから、河川内に位置する主塔部橋脚の強軸方向が橋軸方向に対して 24.5° の斜角を有している。また、地盤条件は種地盤であり、地震時に液状化は生じないと判定されている。

3. 解析モデルと解析手法

図-1 に示す斜張橋主径間部を図-2 に示す 3 次元フレームにモデル化し、非線形時刻歴応答解析を行った。主桁、主塔、橋脚、ケーブルの断面定数は配筋詳細図に基づいて設定し、主桁は弾性はり要素、主塔と橋脚は弾塑性はり要素とし、非線形履歴特性はトリリニア型の武田モデル（剛性低下率 $\gamma=0.4$ ）を用いた。解析における数値積分には、ニューマークの β 法（ $\beta=1/4$ ）を用い、積分時間間隔は $\Delta t=1/1000$ 秒とし、橋全体の粘性減衰としてレーリー減衰を用いている。また、解析に用いる入力地震動は道路橋示方書に示されるレベル 2 地震動のうち、タイプ 地震動の中の 種地盤用 No.1 波形を用いている²⁾。

4. 検討概要と解析ケース

現況の耐震性能照査の結果、主塔部の橋脚は強軸方向のせん断耐力が閾値となることから、本検討では、主塔部橋脚の強軸方向の応答せん断力の低減効果に着目して検討を行う。ここで、間詰材は衝突に伴う高ひずみ、高面圧下においても荷重の繰り返し回数や載荷速度に対して安定した圧縮性能を発揮することが求められる。したがって、既往の実験結果より、これらの性能を有する間詰材として、図-3 に示す圧縮力 - 圧縮ひずみ関係を有する間詰材を用いている。

解析ケースは表-1 に示すように、端部橋脚の曲げ耐力を現況のまま、間詰材の設置個数を桁端部一箇所当たり 50 個から 250 個まで変化させた 5 ケースとした。間詰材の設置個数が増加すると、間詰材の初期剛性を考慮した 1 次の固有周期は短くなるが、Case5 の 250 個の場合においても 1% 程度短周期になる程度である。

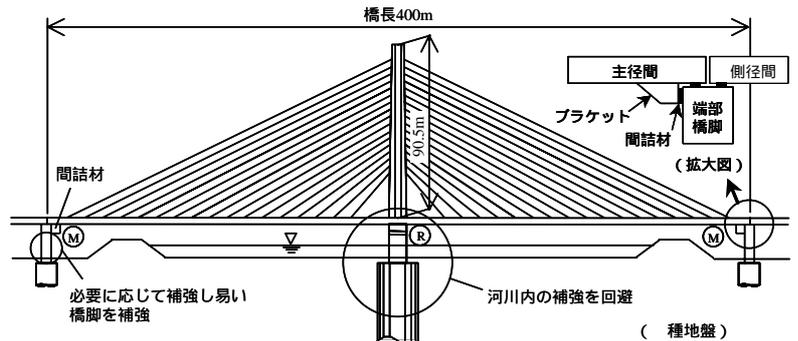


図-1 対象橋梁

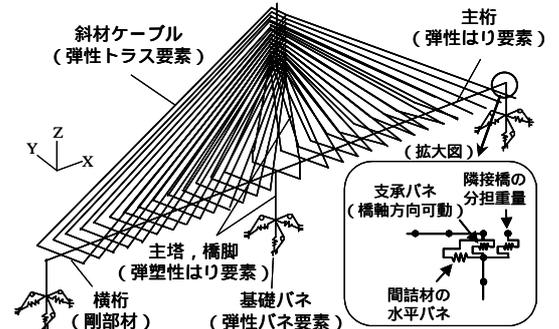


図-2 解析モデル

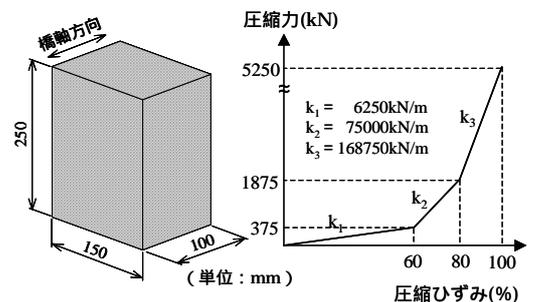


図-3 間詰材のモデル化

5. 解析結果

図-4 に間詰材の軸方向剛性に対する主塔部橋脚と端部橋脚の最大応答せん断力の関係を示す。図より、主塔部橋脚の最大せん断力は Case1 の間詰材 50 個を設置した場合、間詰材を設置しない場合と比べて約 6%程度低減される。さらに、間詰材の軸方向剛性が大きくなるにつれて主塔部橋脚のせん断力は小さくなり、間詰材を 250 個設置した Case5 では、間詰材を設置しない場合と比べて約 10%程度低減される結果となる。一方、端部橋脚の最大応答せん断力は間詰材を設置することにより大きくなる。これは間詰材を設置することにより、主塔部の地震慣性力、即ち水平力を分担するためであり、Case1 の間詰材 50 個を設置した場合、間詰材を設置しない場合と比べて端部橋脚のせん断力は約 8%程度増加する。その後、間詰材を増加しても端部橋脚が塑性化するため、端部橋脚の作用せん断力は増加しない結果となる。

図-5 に間詰材の軸方向剛性に対する主桁と端部橋脚天端の最大応答変位を示す。図-5 の中で、主桁端部と端部橋脚天端の変位の差が間詰材の変位である。なお、何れのケースも主桁端部と端部橋脚天端の最大変位は同時刻である。図より、間詰材が多くなるにつれて端部橋脚の変位は増加し、逆に主桁端部の変位は減少している。また、間詰材の増加とともに主塔部橋脚の最大応答変位が減少する理由としては、図-6 の端部橋脚の曲げモーメント - 曲率の応答履歴結果に示すように、例えば間詰材が Case1(50 個)から Case5(250 個)に増加すると、間詰材の軸方向剛性が大きくなり、端部橋脚の塑性変形が 2 割程度大きくなる。このため、端部橋脚の塑性化による履歴吸収エネルギーが Case1 の場合、2217.6kJ、Case5 の場合、2588.5kJ と 17%大きくなり、主桁の最大応答変位が小さくなったと考えられる。

以上より、間詰材の軸方向剛性が大きくなると、間詰材自体の変形は小さくなるが、端部橋脚の塑性変形は大きくなる。そのため、端部橋脚によるエネルギー吸収が大きくなり、主桁の変位が抑制されたため、主塔部橋脚の最大せん断力が 1 割程度低減されると考えられる。

6. まとめ

間詰材の設置個数をパラメータとした解析の結果、間詰材の軸方向剛性が大きくなると、地震慣性力が端部橋脚に分散され、間詰材の変形は小さくなるが、端部橋脚の塑性変形は大きくなる。このため、端部橋脚によるエネルギー吸収が増大し、主桁の変位が抑制され、主塔部橋脚の最大せん断力が 10%程度低減できた。

今後は、さらに主塔部橋脚の応答低減効果を図るため、間詰材の個数や種類、端部橋脚の耐力および入力地震動をパラメータとした検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 田崎賢治, 幸左賢二, 阿部弘典, 新井伸博: 橋の桁遊間部に間詰材を充填する地震慣性力の低減効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp. 1171-1176, 2004.7
- 2) 日本道路協会: 道路橋の耐震設計に関する資料, pp. 10.6, 1997.3

表-1 解析ケース

解析ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
設置個数	50	100	150	200	250
面積(m ²)	1.875	3.750	5.625	7.500	9.375
間詰材圧縮ひずみ	60%	60%	60%	60%	60%
パネ定数(MN/m)	312.5	625.0	937.5	1250.0	1562.5
水平反力(MN)	18.75	37.50	56.25	75.00	93.75
水平変位(m)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
1次の固有周期(sec)	3.152	3.147	3.144	3.142	3.140
間詰材を設置しない場合の1次の固有周期: 3.164sec					

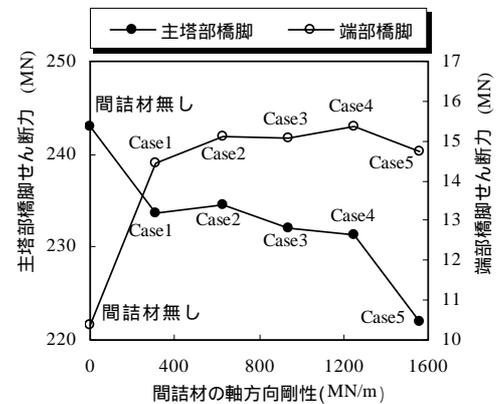


図-4 最大応答せん断力

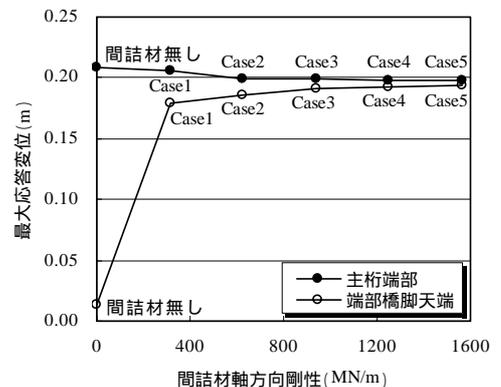
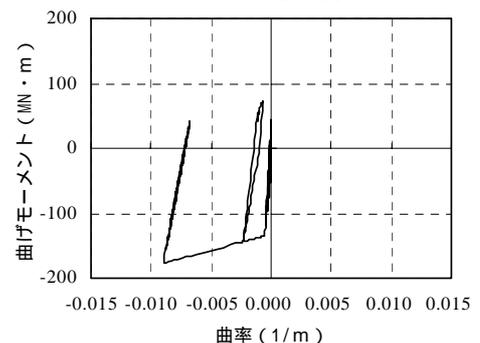
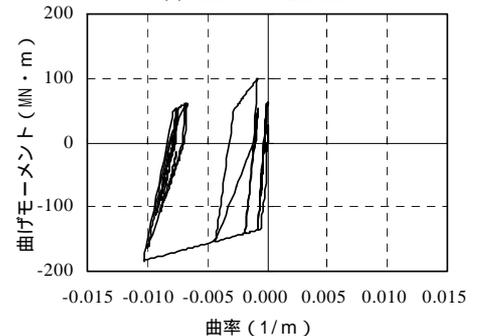


図-5 最大応答変位



(a)間詰材 50 個設置



(b)間詰材 250 個設置

図-6 端部橋脚の曲げモーメント-曲率関係