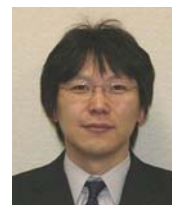


大規模地震時における桁・橋台パラペット間の衝突問題に関する検討

Study on collision between the girder and the parapet of L2 earthquake

交通事業部 交通第2部 青地 知也¹⁾



1)

概要 (Abstract)

兵庫県南部地震を始めとする近年の大規模地震において、上部構造の応答変位が増加することにより、桁と橋台パラペット間の衝突が問題となる。新設橋であれば遊間を確保することで衝突を回避できるものの、既設橋の場合は遊間が 50mm から 100mm 程度と非常に狭いことから、レベル 2 地震動のような大規模地震時には、桁と橋台パラペットの衝突が避けられない状況にある。

このような背景から、桁-橋台パラペット間に緩衝材を設置し、橋台パラペットの損傷を防ぐ、または衝突荷重を緩和することが検討されており、本報告では過去に当社にて設計した実橋梁を対象として解析モデルを作成して、橋台パラペットに対する桁の衝突荷重に着目した動的応答解析を実施し、緩衝材の効果を検証した。

使用した緩衝材は、現在開発中の復元力特性を持つゴム製緩衝材と、一般的に使用されているハニカム型ダンパーを対象として解析を実施した。解析結果より、ゴム製緩衝材は復元性能が期待できるためタイプ I 地震動のような加速度が比較的小さいものの繰返し回数の多い地震波に高い緩衝効果を発揮することが解った。また、ハニカム型ダンパーは限界変位が圧縮率 70% と大きいいため、クリアランスの狭い場合でも、高い緩衝効果を発揮することが解った。

1. はじめに

兵庫県南部地震を始めとする近年の大規模地震に対応するため、H8 道路橋示方書以降、地震時慣性力分散を目的とした分散支承や免震支承などのゴム支承を採用する設計が一般的となっている¹⁾。

このように設計された橋梁は、従来設計の橋梁と比較して支承変形量が大きく、上部構造の応答変位が増加する傾向にあるため、桁が橋台パラペットに衝突するのを防止するために、大きな遊間を確保する必要がある。

また、ゴム支承や伸縮装置を含めた桁端構造の大規模化が、建設コストの増大をまねく傾向がある。

さらに既設橋梁の場合は、遊間が 50mm から 100mm 程度と非常に狭いことから、レベル 2 地震動のような大規模地震時には、桁と橋台パラペットの衝突が避けられない状況にある。

既設橋の耐震補強においては、桁と橋台の衝突を利用し、橋台に桁の変位を拘束させる変位拘束工法などの橋梁全体系の補強方法が考えられているが、既設橋台のパラペットでは耐力が不足しており

桁変位を完全に拘束できない場合が多い。

このような背景から、桁-橋台パラペット間に緩衝材を設置し、橋台パラペットの損傷を防ぐ、または衝突荷重を緩和することが検討されている

そこで本報告では、緩衝材により大規模な遊間を確保することなく、桁-橋台パラペット間の衝突の影響を緩和することで、伸縮装置を含めた橋梁遊間部のコスト削減および安全性の確保を目的とし、過去に当社にて設計した実橋梁を対象として解析モデルを作成して、橋台パラペットに対する桁の衝突荷重に着目した動的応答解析を実施し、緩衝材の効果を検証した。

使用した緩衝材は、現在開発中の復元力特性を持つゴム製緩衝材および、一般的に使用されているハニカム型ダンパーとの 2 種類を対象として検討を実施した。

2. 実橋梁モデルによる解析

2. 1. 対象橋梁の概要

対象橋梁は、図-1 に示すように H8 道路橋示方書

を適用して設計された橋長 54.500m, 支間長 26.000m の 2 径間連結 PC 合成桁橋である。

主な橋梁諸元は、橋台構造は逆 T 式、橋脚構造は壁式、基礎構造は橋脚、橋台ともに場所打ち杭 ϕ 1200 を採用している。支承構造は荷重分散効果を見込んで全箇所、ゴム支承(E)を採用している。

上部工の総重量は 31100kN, 各支点反力は A1 橋台が 8000kN, P1 橋台が 15100kN, A2 橋台が 8000kN となっている。また地盤種別はⅢ種地盤である。

遊間については、桁と橋台パラペットが衝突しない十分な間隔とするため、250mm を確保している。

上記、実橋梁における橋梁諸条件をもとに、解析の基本モデルを作成し、この橋梁に対して桁と橋台パラペットの衝突の影響や緩衝材設置の効果などをパラメトリックに解析する。

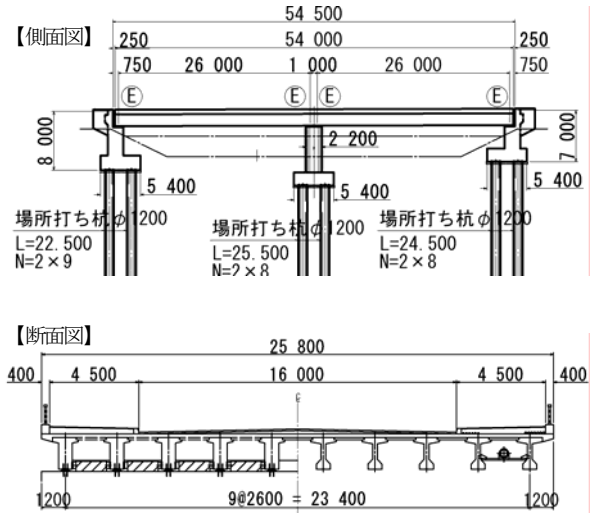


図-1 橋梁概要図

2. 2. 解析モデル

解析モデルは図-2に示すような2次元骨組モデルとした。上部工と橋台は線形はり要素、橋脚は非線形はり要素にてモデル化し、橋脚基部に塑性ヒンジを設けた。各部材の減衰定数は表-1に示した。

上部工端部には、桁と橋台パラペットとの衝突荷重を算出するため遊間に緩衝材バネを設置し、緩衝材バネの端部を完全固定とした。

緩衝材バネについては、以下の 3 ケースの状態を再現するため、図-3 に示すバネモデルを作成し検討を行った。なお、既存の市販品の中からハニカム型ダンパーをゴム製緩衝材の比較対象とした。

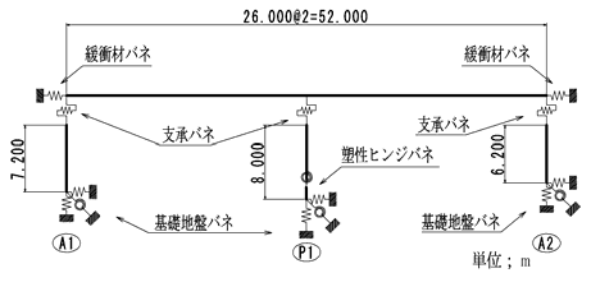


図-2 解析モデル図

表-1 減衰定数一覧表

部 材	上部工	支承	橋脚躯体	基礎
減衰定数	3%	4%	2%	30%

- Case1: 緩衝材を設置しない場合
- Case2: ゴム製緩衝材を設置した場合
- Case3: ハニカム型ダンパーを設置した場合

Case1 の緩衝材を設置しない場合の衝突は、遊間は自由に変形し、橋台パラペットに接触した時点で高剛性を示すバネモデルにて再現した。

Case2 のゴム製緩衝材は、既往の実験結果から作成したバネモデルであり、実橋梁に設置する緩衝材を想定してゴム高さ $H=200$ mm とした。また緩衝材の設置基数は、水平方向に橋梁外桁間隔(23.400m)程度、鉛直方向に 1 段の範囲に設置可能であると判断し、この範囲に最大設置可能な基数として100基分のバネモデルを作成した。

Case3 のハニカム型ダンパーの設置基数は、ゴム製緩衝材との比較であることから、設置面積が同等となるように 34 基とした。

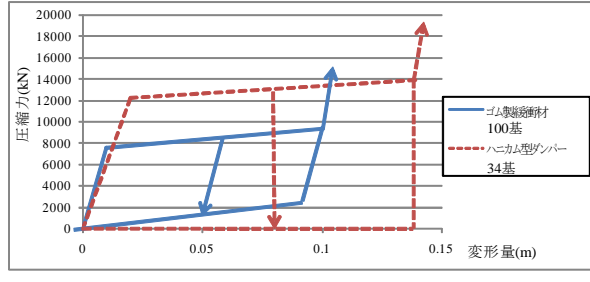


図-3 解析モデル図

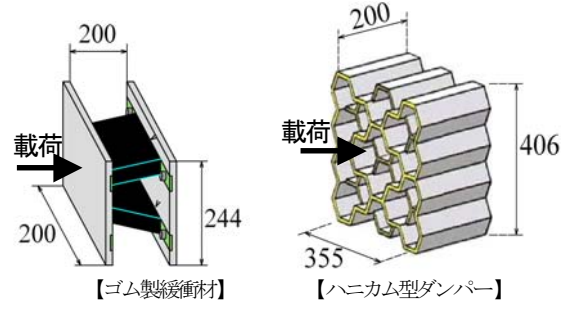


図-4 緩衝材の概要図

2. 3. 解析手法および入力地震波

解析には汎用3次元動的解析プログラムTDAPIIIを使用し、固有値解析手法はサブスペース法、動的解析手法は非線形時刻歴応答解析とした。時間積分法はNewmark β 法($\beta=1/4$)を用い、積分時間間隔は0.002秒、解析時間は50秒である。解析方向は緩衝材に着目しているため橋軸方向としている。

入力地震波は、道路橋示方書に示されているⅢ種地盤のレベル2地震動タイプⅠおよびタイプⅡの各3波の内、主桁の応答変位が最大となる地震波についてタイプⅠ、タイプⅡの各々から抽出して使用した。地震波の詳細について図-5に示す。

2. 4. 緩衝材を設置しない場合の解析

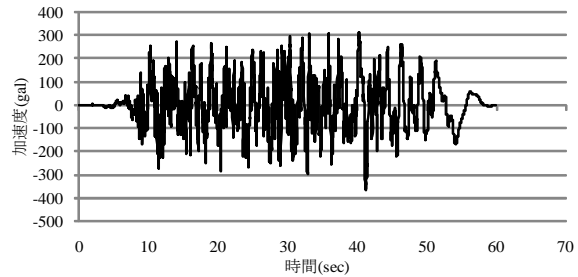
実橋の設計における桁の最大変位は、タイプⅠでA1橋台方向へ157mm、A2橋台方向へ123mm、タイプⅡで橋台方向へ248mm、A2橋台方向へ187mmとなっている。このため、桁と橋台パラペットが衝突を防止するため遊間を250mm確保しているが、緩衝材を設置していない場合のパラペットへの桁衝突の影響を検討するため、遊間を50mm、100mm、150mm、200mmと変化させ解析を行った。図-6はA1橋台およびA2橋台における橋台パラペットへの桁衝突荷重の最大値を遊間量毎に示したものである。

タイプⅠの結果では遊間を大きく確保するに従い、桁衝突荷重が小さくなる傾向にある。これは遊間が大きくなるに従い橋脚の塑性化による履歴減衰や分散支承の影響により衝突荷重が小さくなったものと考えられる。また、遊間100mm以下の場合には橋台パラペットが破壊する限界衝突荷重10800kNを大きく上回り、橋台パラペットが破壊に至る結果となった。

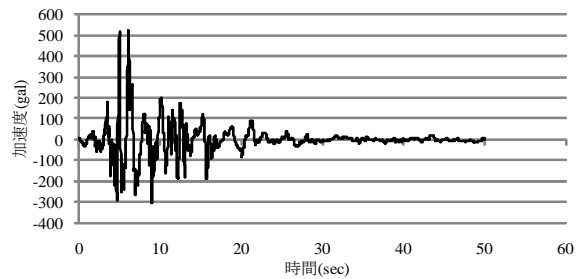
タイプⅡでの衝突荷重は橋台に衝突する1波によるものである。この時の衝突荷重は、事前に複数回衝突している遊間50mmの場合を除き、遊間を大きく確保しても、ほぼ一定となっている。また、桁と橋台パラペットが衝突しない遊間200mmのA2橋台以外、橋台パラペットの限界衝突荷重を上回り、橋台パラペットが破壊に至る結果となった。

2. 5. ゴム製緩衝材を設置した場合の解析

解析は、図-7示すように橋台パラペット前面に緩衝材を設置するものとし、緩衝材と桁端とのクリアランスを0mm、50mm、100mm、150mm、200mmと変化させ解析を行った。図-8はA1橋台およびA2橋台における橋台パラペットと桁との衝突荷重の最大値を遊間毎に示したものである。

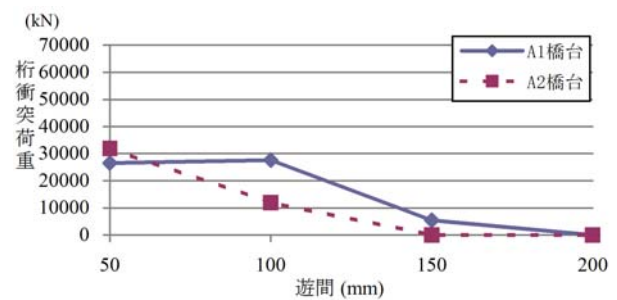


【タイプⅠ:T1-III-1 max 368.4 (gal)】

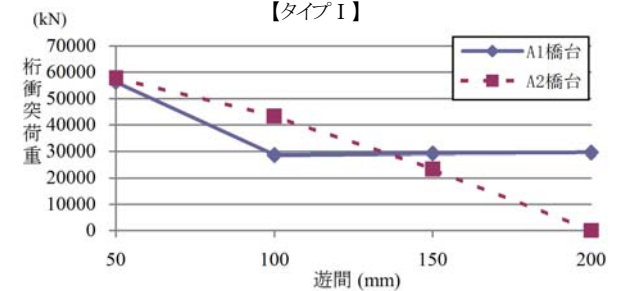


【タイプⅡ:T2-III-3 max 526.3 (gal)】

図-5 解析に用いた入力波形



【タイプⅠ】



【タイプⅡ】

図-6 橋台パラペットの桁衝突荷重(緩衝材無)

タイプⅠにおいては、桁が緩衝材に確実に衝突する100mm以下のクリアランスの場合、桁衝突荷重は、クリアランスの大きさにかかわらず橋台パラペット耐力10800kN以下である6000kN程度となり、橋台パラペットが破壊しない結果となった。これは、ゴム製緩衝材が1次、2次剛性区間で繰返し履歴ループを描きエネルギー吸収することで桁衝突荷重を低減したためと考えられる。

タイプⅡにおいては、クリアランス100mm以上ではタイプⅠと同様にゴム製緩衝材が1次、2次剛性

区間での挙動となり、桁衝突荷重も 6000kN 程度であることから橋台パラペットは破壊しない。

クリアランスが 0mm および 50mm のように小さい場合には、桁の衝突によりゴム製緩衝材が限界変位量を超えゴム材の大変形状態からゴム材自体の圧縮状態である 3 次剛性区間となることにより、大きな桁衝突荷重が発生し、橋台パラペットが破壊に至る結果となった。

2. 6. ハニカム型ダンパーを設置した場合の解析

解析は、ゴム製緩衝材と同様に緩衝材と桁端とのクリアランスを 0mm, 50mm, 100mm, 150mm, 200mm と変化させ解析を行った。図-9 は A1 橋台および A2 橋台における橋台パラペットと桁との衝突荷重の最大値を遊間毎に示したものである。

タイプ I, タイプ II に共通して、桁が緩衝材に確実に接触するクリアランスの場合、桁衝突荷重は 13800kN 程度から、クリアランスが大きくなるに従い、12500kN 程度に低下している。

橋台パラペット耐力 10800kN を超えているものの、緩衝材を設置しない場合と比較し、桁衝突荷重を 1/2 から 1/4 程度に大幅に低減している。また、クリアランスの大きさにかかわらず、桁衝突荷重を一定に低減していることが解った。

これは、ハニカム型ダンパーの緩衝材としての特性によるもので、1 次剛性から 2 次剛性へ移行する耐力が非常に高いことから、少ない変形量でも大きなエネルギー吸収が可能であるためである。

また、桁の変位によりハニカム型ダンパーが完全に潰れ、3 次剛性に移行する場合の圧縮量が 140mm (圧縮率 70%) と非常に大きいことから、クリアランスが少ない場合においても、大きなエネルギー吸収が可能である。

3. まとめ

本報告は製緩衝材の効果を把握するため、実橋モデルに適用し、ゴム製緩衝材とハニカム式ダンパーとの比較を行った。以下に、検討結果をまとめる。

- 1) 解析結果より、ゴム製緩衝材は復元性能が期待できることからタイプ I 地震動のような加速度が比較的小さいものの、繰返し回数の多い地震波の場合に、高い緩衝効果を発揮することが解った。
- 2) 解析結果より、ハニカム型ダンパーは限界変位が圧縮率 70% と大きいため、クリアランスの狭い場合でも、高い緩衝効果を発揮することが解った。

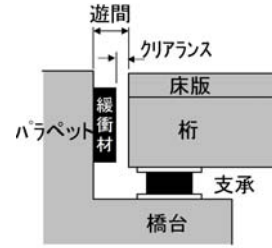
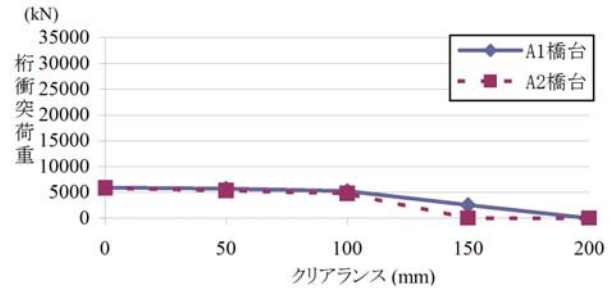
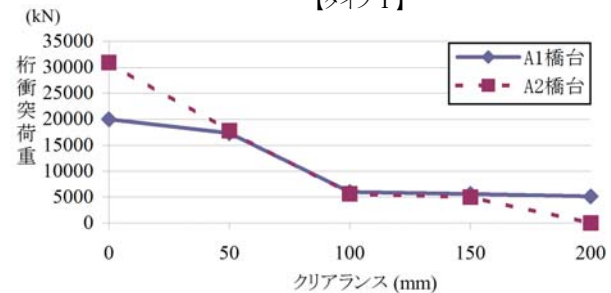


図-7 遊間の緩衝材設置概要図

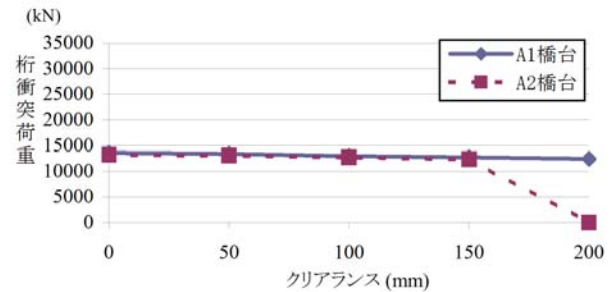


【タイプ I】

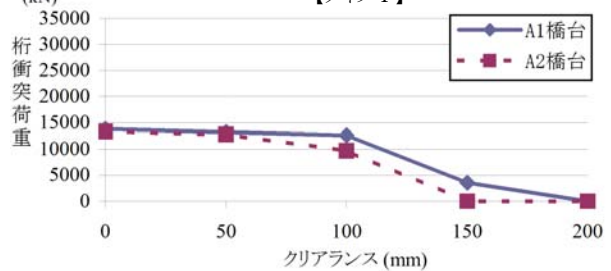


【タイプ II】

図-8 橋台パラペットの桁衝突荷重 (ゴム製緩衝材)



【タイプ I】



【タイプ II】

図-9 橋台パラペットの桁衝突荷重 (ハニカム型ダンパー)

4. 今後の展望

今後、実橋梁への適用として緩衝材の取付け方法や、橋台パラペットが塑性化した影響などを考慮し、実橋により近い検討を進めていく予定である。