

小曲線橋の耐震設計における 支承構造の技術的工夫

雨宮 智久¹・田中 大樹²

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 流域治水課 (〒582-0009 大阪府柏原市大正2-10-8)

²近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142) .

近畿自動車道紀勢線のハーフインターで計画されていた「すさみ南IC」において、当IC付近に位置する防災道の駅「道の駅すさみ」から広範囲かつ迅速な被災箇所へのアクセスを可能とし、地域の防災能力向上に向けオンランプの追加の事業が進められている。

本橋は地形的条件や周辺環境の制約などから鋼3径間連続箱桁橋の橋梁形式が採用され、本線との接続などを踏まえ曲線橋となった。しかし地震時の支配的な挙動方向が下部構造ごとに異なることなどから、限定した方向にのみ移動する支承は不向きで、全方向に移動と回転が可能な支承を用いることが求められた。そこで、常時機能を満足する免震支承に加えて、地震時の変位追従機能を補完する免震支承を追加することにより、橋脚柱規模及びび杭を最小化した合理的な設計を実現した。さらに、全方向免震構造を採用することで、震災直後の緊急点検の着眼点は基柱部から支点部となり、緊急点検の容易性も確保した橋梁設計を実現した。

キーワード 曲線橋、耐震設計、支承設計、免震支承

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線（以下：紀勢線）は大阪府松原市から和歌山県南部を通り三重県多気郡多気町までを結ぶネットワークを構成する高規格道路である。紀勢線は、大規模災害時における緊急輸送道路など災害時の交通確保、救急医療活動の支援、地域相互の振興と発展に寄与するために整備を進めている。「すさみ南IC」は、事業化当初はハーフインターチェンジ（大阪方面へのオンランプ、大阪方面からのオフランプ）で計画されていたが、地域の防災能力向上に向け串本方面へのオンランプの追加が令和4年に事業化された（事業主体：和歌山県）。事業主体は和歌山県であるが、紀南河川国道事務所が建設を進めている「すさみ串本道路」（図1）へ接続することから、本線およびオンランプにおいて一連の設計、施工が求められるため（図2）、当事務所が和歌山県からの受託事業として設計・施工を行っている。

2. すさみ南IC串本方面オンランプの事業化の背景

すさみ串本道路は、紀勢線の一部を構成する和歌山県東牟婁郡串本町サンゴ台から和歌山県西牟婁郡すさみ町江住に至る延長19.2kmの自動車専用道路である。平成26年度事業化当初はすさみ南ICより以南にすさみ南ICと



図-1 すさみ南 IC の位置図



図-2 すさみ南 IC 完成イメージ



図-3 すさみ南ICと道の駅すさみの位置関係

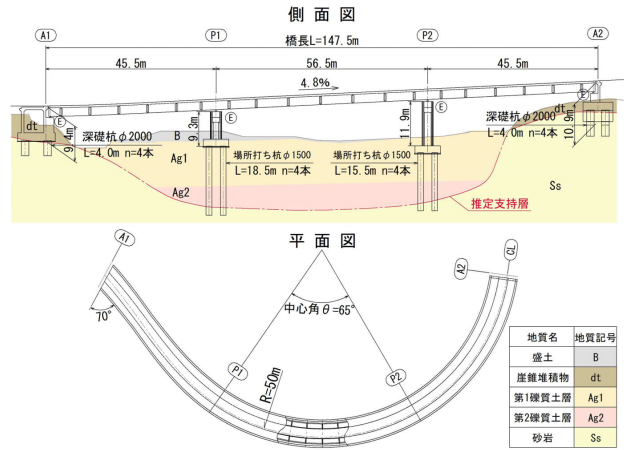


図-5 概要図

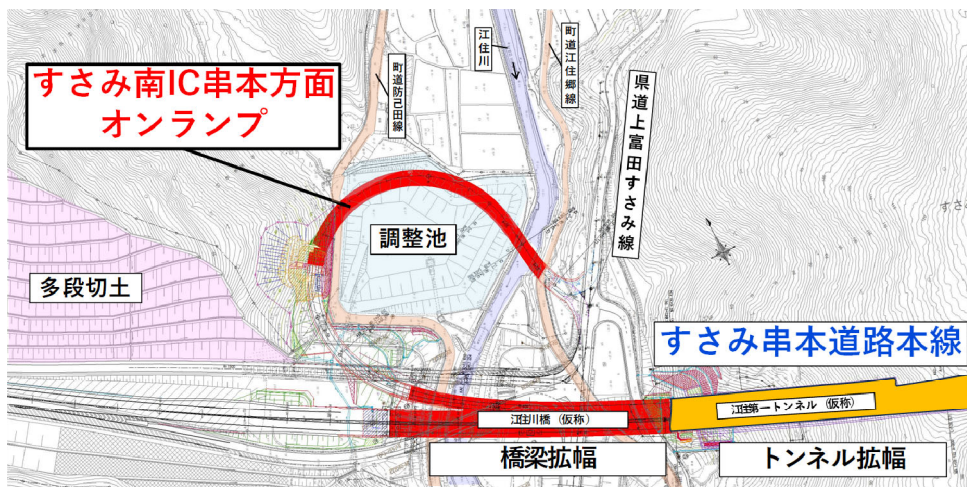


図-4 追加オンランプに伴う周辺条件

逆方向のハーフランプとして和深IC (仮称) (串本方面へのオンランプ, 串本方面からのオフランプ) を整備する計画であった。

すさみ南ICの近くに位置し, 令和3年6月に「防災道の駅※」として選定された道の駅「すさみ」(図3)は, 広域的な防災拠点機能を期待できる一方で, ハーフインターでは, 道の駅から紀勢線を活用しアクセス可能なエリアが限られていた。大規模災害時における防災機能の強化, 観光振興及び地域活性化などを目的に, 串本方面への追加オンランプの整備³⁾を令和4年に和歌山県により事業化されたが, 追加オンランプの接続先であるすさみ串本道路本線の橋梁・トンネルの拡幅の必要があり, 一連の設計, 施工が求められることから, 当事務所が和歌山県からの受託事業として設計・施工を行うこととした。

※「防災道の駅」は自衛隊, 警察, テックフォース等の救援活動の拠点, 緊急物資等の基地機能, 復旧・復興活動の拠点等となり, 広域的な防災拠点機能を持つ道の駅である。

3. 追加オンランプの設計検討

(1) 追加オンランプの構造形式

すさみ南ICは狭隘な谷谷に位置しており, 追加オンランプは県道上富田すさみ線からすさみ串本道路の串本方面へ乗り入れるオンランプとなる(図4)。県道上富田すさみ線の対岸に位置する斜面は本線で多段切土になっており, 追加オンランプ施工に伴う掘削時の地山挙動への影響が懸念された。そのため平面線形はR=50mの小曲線半径とし, 大規模な切土を回避した。河川部の横断を除き追加オンランプ全線を盛土構造にした場合, 本線位置が高くオンランプの盛土が高盛土なる, オンランプの設置個所の調整池・町道の機能を大幅に阻害することから, それら施設の代替え機能の確保が必要となるが, 周辺に新たに計画整備することが困難であったため, 橋梁形式を採用することとした。橋梁の支間割については, 調整池の機能阻害を考慮した橋脚配置にする必要があり, 施工性や経済性なども踏まえ, 鋼3径間連続箱桁橋が合理的で経済的となった。

表-1 支承条件の比較

支承条件	多脚固定構造	全方向分散構造	全方向免震構造	剛結構造	
	A1 P1 P2 A2	A1 P1 P2 A2	A1 P1 P2 A2	A1 P1 P2 A2	
	E + F + F + E	E + E + E + E	E _m + E _m + E _m + E _m	E + R + R + E	
略図					
塑性部位	橋脚基部	橋脚基部	免震支承	橋脚の上下	
橋脚	柱径	φ3.6m	φ3.5m	φ3.0m	φ4.0m
	杭	φ1.5m 6本	φ1.5m 5本	φ1.5m 4本	φ1.5m 6本
構造性	全方向免震構造に比べると、橋脚柱規模が大きく、杭本数も多い	全方向免震構造に比べると、橋脚柱規模が大きく、杭本数も多い	減衰効果により、橋脚柱規模が最も小さく、杭本数も最も少ない	橋脚の柱高が低く支持層も浅いため、剛結構造にとっては不向きな構造系	
	△	△	○	△	
経済性 (橋全体)	約4千万円不経済	約6千万円不経済	最も経済的	約3千万円不経済	
	△	△	○	△	
維持管理 (定期点検)	2点沓で沓座周りがシンプルのため点検しやすい	支承数が多く沓座周りが煩雑で点検しにくい	支承数が多く沓座周りが煩雑で点検しにくい	中間支点は支承がなく維持管理対象が少ない	
	○	△	△	○	
震災対応 (緊急点検)	柱基部と支定点の着眼が必要である	柱基部と支定点の着眼が必要である	主に支定点に着眼すればよい	剛結部と柱基部の着眼が必要である	
	△	△	○	△	

(2) 本橋の特徴と支承部の検討

鋼3径間連続箱桁が選定され、橋長147.5m、最大支間L=56.5m、中心角θ=約65°の曲線橋となった。(図5) 本橋はR=50mと小さい曲線半径となる曲線橋であることに加え、縦断勾配が4.8%であり下部構造ごとに柱高が大きく異なる特徴がある。本橋のような場合、地震の影響により下部構造ごとに挙動方向が異なるとともに伸縮方向も一致しないため、支承条件は、限定した方向にのみ移動する支承は不向きで、全方向に移動と回転が可能な支承条件を用いることが求められた。支承条件としては限定したい方向のみに移動可能となるような可動支承(サイドブロックで拘束)は不向きであり、任意の加振方向に同様な支持機能で変位追従できる構造(固定F、弾性固定E、剛結R)が適切となる。弾性固定構造には通常のゴム支承による反力分散構造(E)と、衰弱機能を付加した免震構造(E_m)があり、それらを組み合わせた4案を比較検討した。

総合的な対比結果を表-1に要約・整理する。多脚固定構造、全方向分散構造、橋脚部剛結構造は、図-6(上段)に示すように耐震設計において柱基部を塑性化させる必要があった。一方で、全方向免震構造は減衰効果により地震時のエネルギー吸収することにより、柱基部の塑性化を制限させることができる。(図-6(下段)) これにより、橋脚柱規模及び杭本数が最小となって合理的であるため最適な構造であると考えた。

しかし、曲線半径が小さい本橋では、断面方向のねじりによる負反力の影響が大きく、全方向免震構造を採用する場合、負反力(上揚力)を解消する必要が生じた。

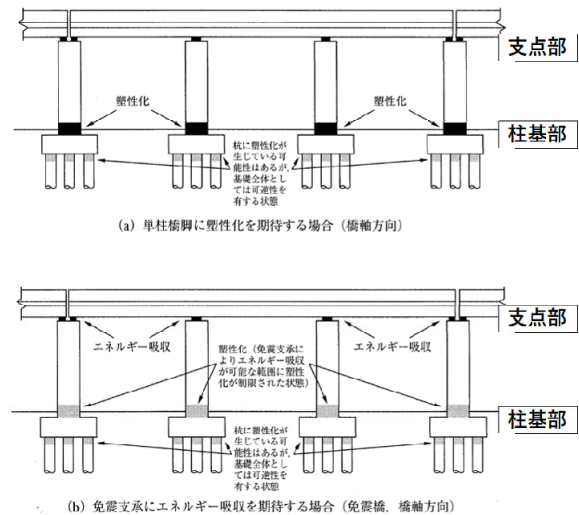


図-6 塑性化を期待する部材等の組み合わせの例²⁾

負反力作用を抑えるため、図-7のように「アウトリガー方式」を採用することで左右の鉛直荷重バランスを調整し、負反力を抑えた。

本橋は縦断勾配が4.8%であり、橋脚高が大きく異なるため、積層ゴム支承の剛性及び減衰性能は、橋脚に作用する水平力を想定値になるよう調整が必要である。しかし、負反力を抑えるため、支承寸法に制約³⁾を受ける本橋の場合、常時機能と大地震時における減衰性能を併せ持つ免震支承は構造成立しなかった。そこで図-8に示すように、「常時機能を満足する免震支承」と「大地震時に必要となる変位追従機能を補完する免震支承」に機能分離をすることにゴム支承の設計収束を図った。機能

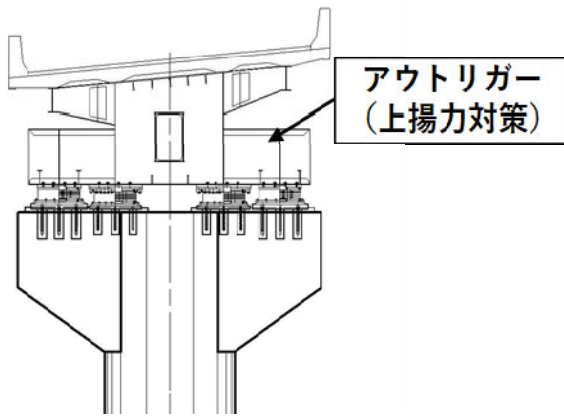


図-7 アウトリガー方式

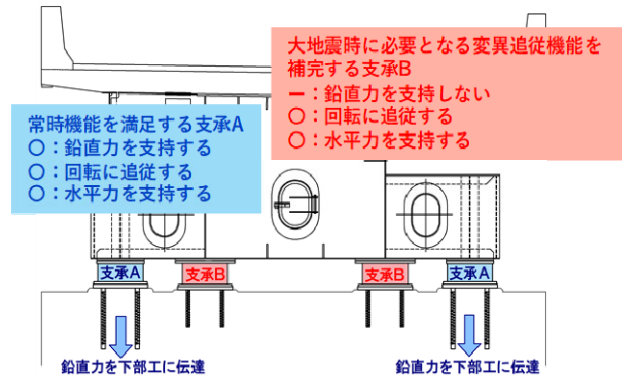


図-8 機能分離したゴム支承

分離構造では、支承数を増やすことで水平剛性を大きく設定できるため、橋梁全体の地震時移動量が300mm程度となって設計収束して構造成立している。なお、曲線橋では、地震力の加振方向が各支点の橋軸及び直角方向が異なるため、「4支点×2=8方向」を考慮している。

下部工あたりの支承設置個数が4基と多く、橋座が非常に煩雑になってしまうことから、支点部構造の簡素化を目的に、1ボックス1沓の検討も行ったが、道路橋支承便覧における寸法制限を満たす最大限設定可能なゴム沓形状を用いても、地震時移動量が大きく生じて橋梁全体系の構造成立が不可となったため、4点沓を採用した。

(3) 維持管理面での優位性

前述したように、全方向免震支承以外の3つの支承構造の場合は柱基部に塑性化が生じる。そのため、地震時などの緊急点検時の着眼点は柱基部と支点部の着眼が必要である。一方で、全方向免震構造は、地震時の大変形は支承のみであり、緊急点検の着眼点は支点部が主になるため、震災直後の緊急点検の容易性の確保に繋がる利点もある。防災拠点の道の駅すさみから大規模災害時における緊急輸送道路になる紀勢線への交通機能を迅速に確保する点からも緊急点検の容易性は大きな利点となり、全方向免震構造を当橋梁の支承構造として採用した。

5. おわりに

紀勢線のすさみ南ICでは、当初のハーフィンターでの計画から、串本方面へ追加オンランプが事業化されたことにより、災害時に防災拠点となる「道の駅すさみ」から広範囲かつ迅速な被災箇所へのアクセスを可能となり、地域の防災能力向上が期待される。当該箇所は地形条件や周辺に位置する調整池への配慮から小曲線橋を鋼3径

間連続箱桁橋で設計する計画となった。

選定された橋梁構造においては、地震時のエネルギー吸収ができ、橋脚柱規模及び杭本数が最小となり、合理的であるため全方向分散構造を採用した。しかし、曲線半径が小さい本橋では、断面方向のねじりによる負反力が働くため、構造成立が難しい条件となるが、「アウトリガー方式」を採用することで左右の鉛直荷重バランスの調整が可能になったほか、「常時機能を満たす免震支承」と「大地震時に必要となる変位追従機能を補完する免震支承」に機能分離をすることで、曲線橋に対応した免震構造の成立を可能とした。

維持管理の面からも、全方向免震構造を採用することで、震災直後の緊急点検の着眼点は基柱部から支点部となるため、緊急点検の容易性を確保した。

小曲線橋の支承構造に上記の技術的工夫を施すことによって、大規模災害時に防災拠点の防災道の駅「すさみ」から緊急輸送道路である紀勢線へアクセスすることが想定されるオンランプの設計において、地形や周辺環境の制約を受けながらも、必要な耐震性能、緊急点検の容易性の確保し、合理的で経済的な設計を両立した橋梁の設計を実現した。

謝辞：本論文作成にあたり、多大なるご協力を頂きました皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1)和歌山県：わかやま県政ニュース すさみ南インターチェンジ串本方面オンランプ設置について、2022.2.27
- 2) (社団法人) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、2017.11.
- 3) (社団法人) 日本道路協会：道路橋支承便覧、2018.10.