

南海トラフ地震や異常気象に配慮した 長支間高架橋の一事例とその耐風対策

中村河川国道事務所 調査課 江口 勝太
中村河川国道事務所 調査課長 藤本 大輔
中村河川国道事務所 建設専門官 山地 哲一

国道56号大方四万十道路は、南海トラフ地震発生時の緊急輸送路の確保等を目的とした高規格道路であり、その一部を構成する後川橋は、現道の国道56号や一級河川後川を渡河する高架橋である。橋の形式選定は、従来、経済性に主眼を置いて検討されてきたが、南海トラフ地震の逼迫性や異常気象の頻発化、熊本地震等の被災を経験し、経済性だけでなく、施工や維持管理の確実性、断層変位や津波等の完全には受容できないリスクに対する冗長性、地域の景観などにも配慮する観点が重要となっている。本橋では、河川災害にも配慮した長支間（144m）の-span>割計画や形式選定、長支間化に伴う耐風設計（風洞試験）の検討事例を報告する。

キーワード 南海トラフ地震、異常気象、橋の形式選定、維持管理・施工の確実性、耐風設計

1. はじめに

橋の形式選定は、これまで、経済的合理性を主眼にして決定されることが多く、例えば、1%未満の計画段階では誤差とも言えるようなコスト差であっても、設計選択において優位と判断されてきた。予備設計で決定された橋梁形式は、そのまま詳細設計から工事発注へと引き継がれ、遡って見直されることも少ない。

そのため、施工段階の仮設コストの増加や供用後の維持管理が困難な部位の判明（写真-1）などが問題になることがあり、経済性に偏重した形式選定の最適解探索の課題を示唆している。

こうした問題に対して、熊本地震等の被災経験、老朽化する膨大なインフラの点検・修繕の効率化などの社会的ニーズの高まりから、長寿命化が図れる、被災しにくい、といった性能が橋に要求されるようになり、平成29年の道路橋示方書改訂においても、構造・施工・維持管理の配慮事項が標準化され、また、適正な形式選定の検討手法を確立するための研究等も進められている¹⁾。

本稿は、平成31年度に事業化した大方四万十道路のうち、現道の国道56号（以下、国道56号と記す）と一級河川後川を横過する後川橋について、経済的合理性だけでなく、南海トラフ地震や異常気象による河川災害リスクの低減、施工時の国道56号への交通影響の軽減や市街地の景観性に着目して要求性能を整理し、総合的な評価を加え、長支間高架橋を選定した検討事例を紹介する。

また、このような長支間高架橋の特有の検討課題となる、風洞試験による耐風設計について述べるものである。



写真-1 維持管理が困難な堤体内の橋脚（ピアアバット）の管内事例（国道56号 新宿毛大橋）

2. 架橋地の条件と要求性能

(1) 架橋地概要と設計条件

大方四万十道路は、四国横断自動車道の一部を構成する高規格道路である。南海トラフ地震発生時には、国道56号の広範囲の津波浸水が予測されており、緊急輸送道路として機能する重要度の高い道路である。

後川橋は、図-1、図-2に示すように市街地の眺望が開けたエリアに位置する橋長 $L=436\text{m}$ の高架橋である。

主な交差物件は、国道56号と一級河川後川であり、架橋地は支持層深度が $\text{GL}-40\text{m}\sim 60\text{m}$ の軟弱地盤を呈す。

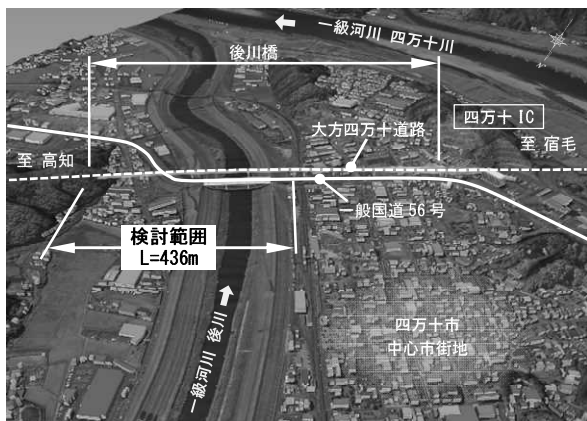


図-1 架橋地周辺のBIM/CIM鳥瞰図

(2) 要求性能の整理

重要度が高い高架橋の要求性能は、通常、「事業費の最小化」や「構造物の安全性・耐震性の確保」が設定されるが、鉄道、河川、幹線道路など重要な交差条件が存在する場合は、「維持管理や施工の確実性」などが付与される。後川橋では、一般的な要求性能に加え、後川の洪水被害等の低減、国道56号の近接施工に伴う交通影響の軽減、市街地の景観性に着目し、表-1 に示す要求性能を整理した。

表-1 要求性能と評価指標、評価項目

要求性能	評価指標	評価・検討項目
事業費の最小化	ライフサイクルコストの最小化	維持管理コストを考慮した構造形式の検討
河川災害リスクの低減	河川影響の低減	堤体内のピアバットの影響検討 河川内橋脚の配置数の検討
国道56号の交通影響の軽減	交通影響の軽減	橋脚位置、構造形式の検討 施工計画の検討
市街地の景観性の配慮	眺望への配慮 圧迫感の軽減	支間バランスの最適化 橋梁付属物の構造細目の検討

3. 支間割計画及び橋梁形式の検討

(1) 河川内の橋脚配置と支間割の検討方針

高架橋の橋脚は、橋台と異なり堤体内に橋脚を入れる必然性はない。一方、構造的な影響や経済性の影響が大きい場合は、さや管構造として堤体への影響を軽減したうえでピアバットの配置が許可された事例もある。

ピアバットの配置は、支間長の短縮が可能となるが、

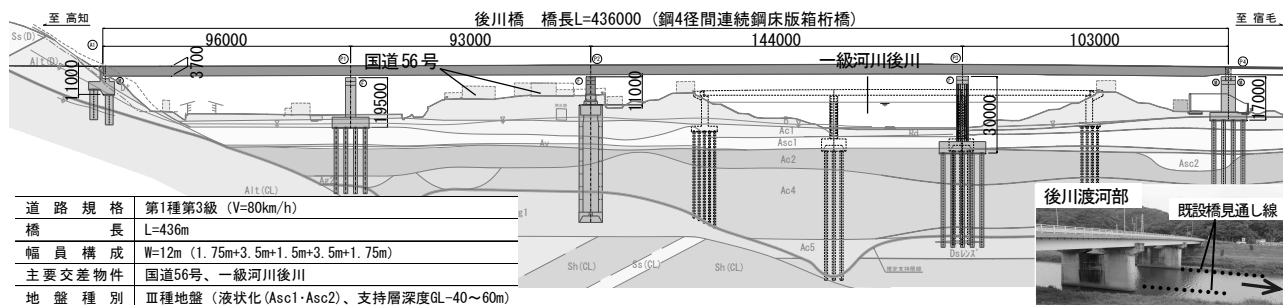


図-2 橋梁概要図

堤防開削など堤体への影響が大きく、地震時の相互の振動特性の違いは堤体の安定性低下のリスクにもなる。

後川橋では、施工時の堤防開削に大規模な仮設が必要となり、橋脚柱の10m以上が堤体内に埋まる。定期点検は困難となり、柱や基礎の修繕には大規模な仮設を要するなど、多くの問題が生じる。

また、図-2に示すように、後川上流側には国道56号の中村大橋が隣接しており、橋脚位置を既設橋脚の見通し線上に配置するといった、異常気象による災害リスクを低減させる計画が必要である。

このため、ピアバットの有無と中村大橋の近接影響を考慮し、支間割計画を立案するものとした。

(2) 国道56号の交通影響を踏まえた橋脚配置

支間割の検討において、国道56号の交通影響についても評価した。図-3 に示す中央分離帯に橋脚を配置した場合、終日の1車線規制が必要となり、昼間の渋滞発生等の交通影響が大きいことが想定される。

そこで、図-4 に示すように中央分離帯と国道56号の線形を改良し、川裏側の道路盛土内に橋脚を配置する案を追加するものとした。

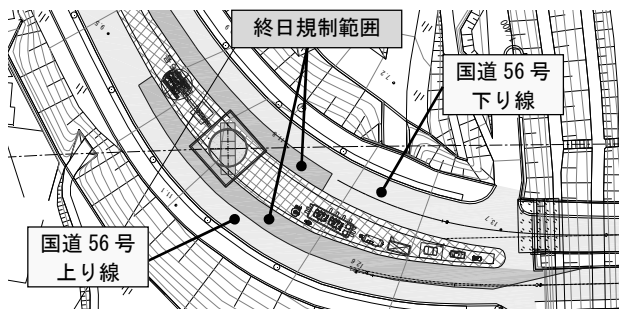


図-3 中央分離帯への橋脚配置案

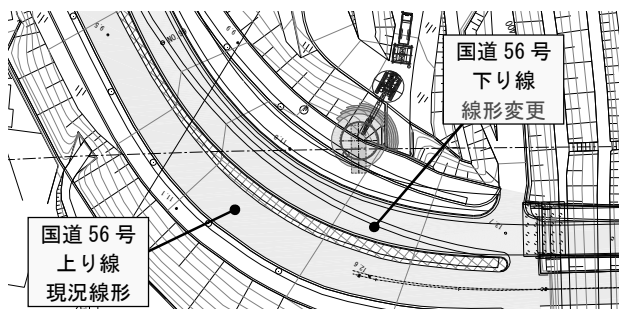


図-4 国道56号線形変更による道路盛土内への橋脚配置案

(3) 橋梁形式の検討

橋梁形式は、交差条件の制約等を踏まえ3～8径間の支間割を立案し、一次選定を行った。二次選定では、経済性、施工性、維持管理性の観点から最終候補の3案を選定し、要求性能に対する評価を加えた（表-2、表-3）。

第1案は、ピアアバットを配置した短支間（L=75m）の計画案であり、支間短縮により安価な上部工形式を採用できる。しかし、施工難度の高いピアアバットや河川内橋脚はコストが高く、橋全体では経済性に劣る。さらに、ピアアバットの維持管理や修復が困難となるリスク、地震時の堤体の損傷リスクも懸念される。

第2案は、河川内橋脚を左岸側に集約し、長支間（L=153m）とした案である。ピアアバットを配置せず、支間バランス確保のため国道56号の中央分離帯に橋脚配置することで、交通影響の増大が懸念される。

第3案は、河川内橋脚を右岸側に集約し、長支間（L=144m）とした案である。ピアアバットや中央分離帯への配置を避けることで、維持管理性の向上、河川災害リスクや施工時の国道56号への交通影響の軽減も可能となり、要求性能に対する評価は最も高い。支間バランスも良く、経済性においても優位なため、選定案とした。

4. 景観性に配慮した橋梁計画

後川橋の景観検討においては、眺望に配慮した支間

バランスや付属物などの構造細目に配慮するものとした。

後川橋は市街地に位置する高架橋であり、圧迫感を解消するスパン割を評価するものとした。また、検査路の構造や排水管の配置等について、図-5、図-6に示すようなBIM/CIMを活用して検討し、河川周辺や国道56号の視点場からの見え方に配慮した。

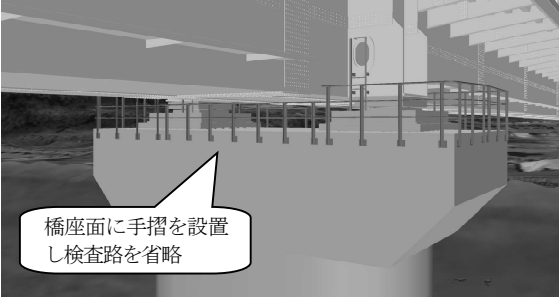


図-5 下部工検査路のBIM/CIMによる見え方の検証

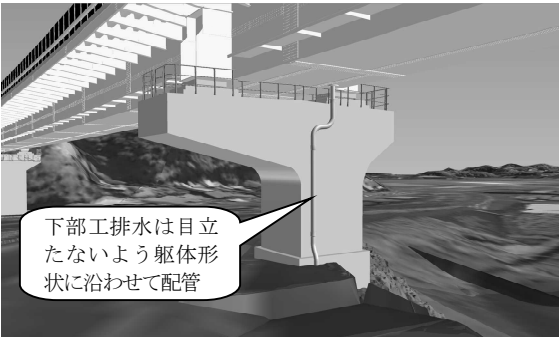


図-6 下部工排水管のBIM/CIMによる見え方の検証

表-2 橋梁形式比較一覧表

比較案	側面図
第1案	【ピアアバットを配置した短支間（L=75m）の計画案】・上部工形式：鋼8径間連続細幅箱桁橋 後川橋 L=436000 51000 55000 52000 75000 50000 50000 49000 54000 国道56号線(上り) 国道56号線(下り) 橋河川 後川 ピアアバット
第2案	【河川内橋脚を左岸側に集約し、長支間（L=154m）とした案】・上部工形式：鋼4径間連続鋼床版箱桁橋 後川橋 L=436000 59000 99000 125000 153000 国道56号線(上り) 国道56号線(下り) 橋河川 後川
第3案	【河川内橋脚を右岸側に集約し、長支間（L=144m）とした案】・上部工形式：鋼4径間連続鋼床版箱桁橋 後川橋 L=436000 96000 93000 144000 103000 国道56号線(上り) 国道56号線(下り) 橋河川 後川

表-3 要求性能に対する評価の概要

比較案	経済性	河川災害リスクの低減	国道56号の交通影響の低減	市街地の景観性の配慮
第1案	初期建設費：100億 維持管理費：8億 ライフサイクルコスト：108億（1.09） △	河川内に配置する橋脚基数が多い ※河積阻害率：4.9% △	中央分離帯への橋脚配置に伴い、国道56号の長期的な規制が必要（1年以上） △	橋脚が乱立するため圧迫感大きい △
第2案	初期建設費：92億 維持管理費：9億 ライフサイクルコスト：101億（1.02） △	河川内に配置する橋脚基数が少ない ※河積阻害率：3.2% ○	中央分離帯への橋脚配置に伴い、国道56号の長期的な規制が必要（1年以上） △	側間が長く、支間バランスに劣る △
第3案	初期建設費：90億 維持管理費：9億 ライフサイクルコスト：99億（1.00） ○	河川内に配置する橋脚基数が少ない ※河積阻害率：3.2% ○	中央分離帯への橋脚配置がなく、国道56号の規制は短い（3か月：線形改良） ○	支間バランスが良く、圧迫感も少ない ○

5. 長支間の鋼橋の耐風対策検討（風洞試験）

後川橋は、長支間（ $L=144\text{m}$ ）の鋼床版箱桁橋を採用し、道路橋示方書の規定により、風による動的な影響（振動）を検証する必要があるが生じた。具体的には、たわみ発散振動（以下、ギャロッピングと記す）とたわみ渦励振（以下、渦励振と記す）の影響を明らかにするため、風洞試験による動的耐風設計を実施した。試験方法は、耐風対策の形状検討を目的に、たわみ振動（鉛直方向）を対象とした1自由度の部分模型試験を採用した。

風洞試験の結果、無対策では照査を満足しないため、条件が類似する耐風対策の既往事例²⁾を調査し、図-7に示す「たわみ性防護柵」、「水平プレート」、「フラップ」による耐風対策の組み合わせを検証した。

図-8に選定した「たわみ性防護柵+水平プレート」の対策後の風洞試験結果を示す。後川橋では、水平プレートの設置高さが渦励振やギャロッピングの照査に影響することに着目し、渦励振の振幅が許容振幅を満足する最適な設置高さ h を検証した。この工夫により、フラップを設置することなく耐風性能を満足し、経済的合理性や景観性の配慮も行うことができた。

風洞試験の状況は、現場見学会で確認し、実験の詳細を学ぶ機会を得た。近年、風洞試験施設を有する大学が減少しているが、今回は、三井造船昭島研究所の協力を得て、無事に完了した。

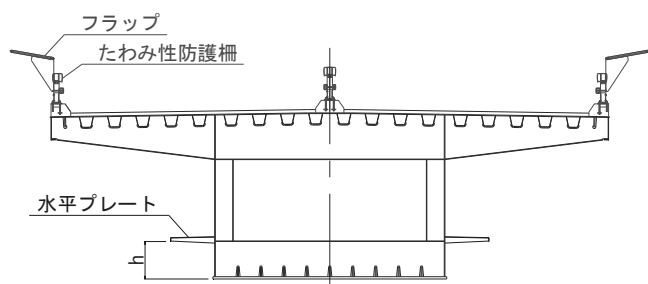


図-7 耐風対策の概念図

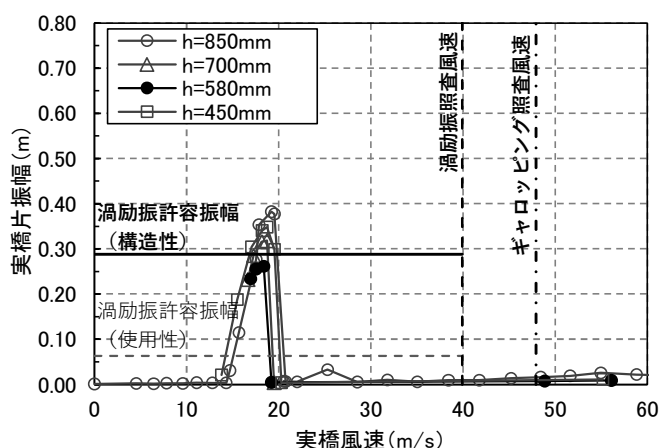


図-8 水平プレートの設置高さ（ h ）と振幅の関係（風洞試験結果）

6. 橋梁形式選定の最適化プロセスの課題

本稿では、ピアアバットの回避や国道56号の交通影響、景観性に配慮した橋梁計画を検討し、総合的な評価を行うことで、長支間の鋼床版箱桁橋を採用するに至った。

河川内橋脚を減らした本事例のような橋梁計画が、一般的に望ましいかとの視点で考えると、必ずしもそうではない。橋ごとに異なる多様な制約条件に対し、類型的に最適解を当てはめることは、設計選択の幅を狭めることとなる。

橋梁形式選定の最適化プロセスでは、要求性能を踏まえた総合的な評価手法の標準化は有効であるが、本稿で述べたピアアバットのリスクのように、多面的な観点からの要求性能の設定を明確化することも重要である。管内の施工事例や維持管理上の課題などを蓄積・評価し、各々の橋梁における形式選定の妥当性をマクロ的に検証する作業は、後工程の手戻りリスクの低減や技術継承にも有効と考えられる。



図-9 後川橋完成イメージ（フォトモンタージュ）

7. おわりに

後川橋では、ピアアバットの施工や維持管理の難度が高いことに着目して評価した選定案が、結果的に最も経済的となった。長支間の計画において、耐風設計は最小限の対策に収まり、河川内橋脚を減らしたことで、異常気象時の河川災害リスクの低減や南海トラフ地震に備えた点検・修繕の容易さの向上も図られたと考えている。

今後の施工に向けては、河川内橋脚の施工や国道56号の線形改良、長支間の送り出し架設などが予定されており、適切かつ綿密な工事発注計画が求められる。風洞試験を反映した詳細設計は完了しており、事業推進に向けて、引き続き尽力する所存である。

参考文献

- 1) 土木学会 橋梁予備設計の適正化に関する研究小委員会：橋の計画と形式選定の手引き、令和5年3月
- 2) 深谷茂広ら：鋼床版箱桁の耐風対策の検討-九島大橋-、第24回風工学シンポジウム論文集、pp.349-354、2016