

(2) 肥薩おれんじ鉄道川内川橋梁

肥薩おれんじ鉄道川内川橋梁は川内・上川内区間に位置する肥薩おれんじ鉄道線として、大正 11 年に建設された。デッキガーダー3連、鋼下路トラス4連で構成されている。今回の工事はデッキガーダーの 3 桁間を鋼下路トラスの 1 桁間とする（桁を架け替える）工事（図-3）であり、鉄道工事のため、我々川内川河川事務所から肥薩おれんじ鉄道に委託を行った工事である。架替を行うにあたって、後述するケーソン基礎の壁式橋脚である既設の P3 橋脚では、荷重の増加に伴う耐震性能の不足が懸念されることから、橋脚の補強が必要となった。本論文では、橋脚補強の設計から施工までの概要を紹介する。

2. 既設 P3 橋脚の補強設計

(1) 既設 P3 橋脚について

デッキガーダーからトラスへ架け替えることにより、既設 P3 橋脚への荷重が増加することから、性能照査を行った。新設トラスの想定反力を加味し、ケーソン基礎の長期支持性能を確認したところ、鉛直支持については既設ケーソン基礎のみで担保できる性能を有していることが確認できた。

一方、しゅん功図の設計条件では、設計水平震度を $K_h=0.16$ としていたため、躯体の曲げ耐力の不足が懸念

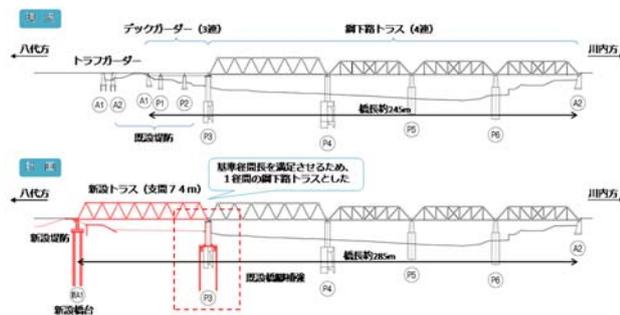


図-3 川内川橋梁の工事内容

表-1 既設橋脚く体の照査結果

L1 地震時	設計降伏震度 K_{hy}	0.187
	設計水平震度 K_h	0.321
	安全度 K_h/K_{hy}	1.718 > 1.0
L2 地震時 (復旧性)	判定	NG
	損傷レベル1 $\gamma_i \cdot \theta_d / \theta_1$	9.999 > 1.0
	損傷レベル2 $\gamma_i \cdot \theta_d / \theta_2$	2.412 > 1.0
	損傷レベル3 $\gamma_i \cdot \theta_d / \theta_3$	1.622 > 1.0
	判定	NG

ここに、 γ_i : 構造物係数 (=1.0)

θ_d : 橋脚く体基部の部材角

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$: 橋脚く体基部の部材角の制限値

された。新設のトラス桁の反力を加味して非線形解析を行ったところ、L1 地震動及び L2 地震動に対して所要の安全度が確保されていない結果となった。（表-1）躯体の曲げ補強が必要となるが、躯体の震度が上がり、基礎に対する負担も大きくなることから、地震時の基礎の性能不足が想定された。

(2) P3 橋脚の補強設計

躯体の曲げ補強は、コンクリート巻立て補強とし、河川阻害を抑えること、及び補強後の基礎への負担を抑える必要があることから、最小限の巻立て厚 (250mm) とした。基礎の補強は、荷重規模、河川内の橋脚であることを勘案して、鋼管を既設ケーソン外周に打設し、鋼管矢板基礎のような井筒状の基礎となるように補強することとした。（図-4）また、既設橋脚に作用する力を鋼管杭に伝達させる必要があるため、鋼管杭と既設橋脚を増しフーチングで接続した。一体化を図るため、鋼管杭にはスタッドジベル、既設橋脚にはあと施工アンカーを配置し、応力伝達を円滑にするため、橋脚基部にハンチを設け、橋脚躯体と鋼管杭を H 形鋼で接続する構造とした。

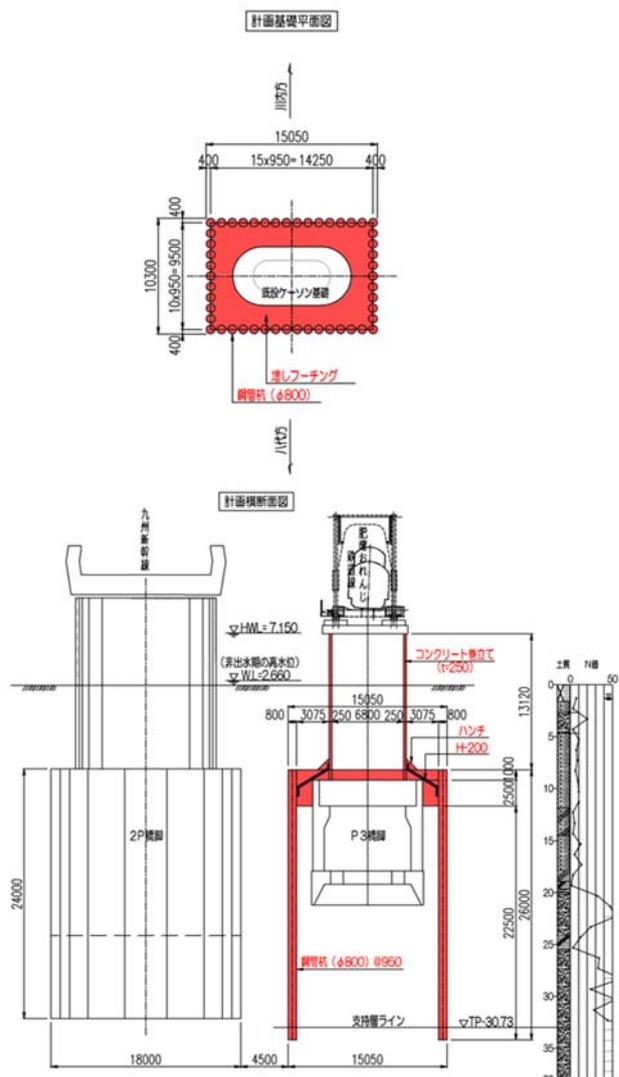


図-4 P3 橋脚の補強概要

これらの設計を元に、P3 橋脚補強後の照査結果を表2に示す。長期支持性能、短期支持性能及び安全性（地震時以外）については、既設ケーソンで性能を満足している。地震時（復旧性）に関しては、ケーソン基礎では所要の安全度を確保できないため、鋼管杭で負担させることで安全度が確保されていることを確認した。

表-2 P3 橋脚補強後の照査結果

照査項目	内容	単位	使用性		安全性 (地震時以外)	地震時 (復旧性)
			長期 支持性能	短期 支持性能		
計算で考慮する基礎構造			ケーソン	ケーソン	ケーソン	鋼管杭
鉛直方向	設計鉛直荷重	kN	15761.3	19069.1	23431.4	1151.0
	設計鉛直支持力	kN	49227.0	70282.5	86399.5	1349.0
	照査	安全度	0.32	0.27	0.36	0.85
水平変位	水平変位量	mm	0.0	1.4	19.4	16.1
	水平変位量の制限値	mm	40.0	40.0	100.0	117.0
	照査	安全度	0.00	0.04	0.26	0.14
回転角	回転角	$\times 10^{-3} \text{rad}$	0.0	0.2	2.2	5.0
	回転角の制限値	$\times 10^{-3} \text{rad}$	2.0	2.0	6.0	20.0
	照査	安全度	0.00	0.10	0.48	0.25

3. 橋脚の施工

(1) 鋼管杭の打設

施工箇所の現場条件は、肥薩おれんじ鉄道の運行をしながらの施工となること、既設桁直下となること、新幹線橋脚に対して近接施工となること、出水期を避けた施工としなければならないことから施工期間が限られるという制約があった。また、支持層は N50 の砂礫層であることから、鋼管杭先端にビットを設置し、圧入機を用いて回転圧入させる工法（ジャイロプレス工法）を用いることとした。施工は1日1本程度のペースで行われ、桁下空頭 $h=5.6\text{m}$ と制約があるなか、桁直下の鋼管杭においては、継施工（部材分割長 4m）を行った。（図-5）



図-5 鋼管杭打設状況

(2) 増しフーチングの施工

既設橋脚コンクリートと新設増しコンクリートの一体化を図るために、既設側の接着面には、サンドブラストによる目あらしを行った。あと施工アンカーは、約1000本と本数が多いため、削孔したままの箇所が多ければ多いほど、既設 P3 橋脚の安全性を損なう恐れがあることから、削孔後直ぐにアンカー挿入を行うよう配慮した。

（図-6）

(3) 施工期間確保の取り組み

前述した既設桁からトラス桁への架替は列車の運休を伴うことから、影響の少ない1月1日に行うこととなった。床堀から橋脚補強、埋戻しまでの一連の作業を12月31日までに行うとなると、出水期施工は避けられない状況であった。出水期間中に橋脚周りを開削した状況であるため、仮締切上に覆工板を設置し、最小限開削しながら施工を行った。覆工板を設置することで、出水による補強部材の流出、掘削面の浸食を防ぐことが可能となった。また、重機で吊れる重さのため、退避も迅速に行うことができ、出水期施工を可能とした。（図-7）



図-6 増しフーチング施工状況



図-7 出水期間中の施工状況

(4) 計測管理

九州新幹線、肥薩おれんじ鉄道線に対して、近接施工となることから、鋼管杭打設の影響を考慮し、九州新幹線及び肥薩おれんじ鉄道線橋脚にターゲットを設置し、トータルステーションでリアルタイム計測を行い、挙動を監視した。警戒値、工事中止値、限界値の3段階の管理値を設定し、変位が管理値に達した時には、関係者の携帯電話へ警報が発信される仕組みとなっており、鉄道運行への影響を確認しながら施工を行った。(図-8)

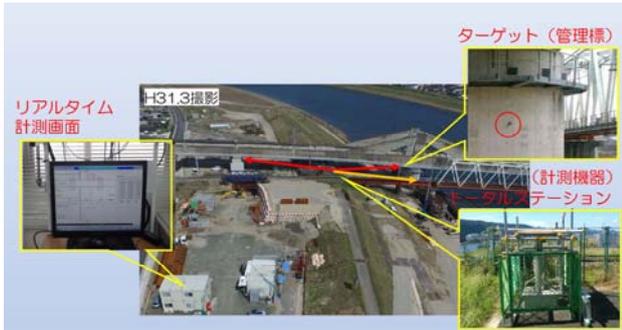


図-8 計測管理状況

4. おわりに

今回、鉄道の安全性を損なうことなく既設橋脚の補強を完了させることができ、令和2年1月1日には、約150人程の一般見学者が見守る中、トラス桁への架替も無事完了した。

本補強設計においては、使用性、安全性に対しては、ケーソン基礎で支持性能もたせ、地震時に対しては井筒状の鋼管基礎で支持性能をもたせる希少な事例であり、応力伝達を円滑にするためのH形鋼設置、桁下直下の鋼管杭の継施工、橋脚の安全性を考慮したあと施工アンカーの挿入、出水期施工を可能とした覆工板の設置、近接施工に伴う計測管理等、設計から施工段階において様々な工夫を凝らした。ケーソン基礎の補強事例は全国的にも少ないため、橋脚補強の今後の参考になれば幸いである。

大小路地区引堤事業(右岸)も終盤を迎えている。1月1日の架替の見学会においては、おれんじ鉄道やマスコミと連携した事前告知等により、地域住民や現場従事者の家族を含め約150名の見学者が訪れた。新聞記事やラジオにも大きく取り上げられ、地域の一大イベントとなった。河川事業に対する理解を更に深めることができたものと考えている。(図-10, 11) また、これまでの事

業推進にあたりご協力いただいた肥薩おれんじ鉄道及び関係者の皆様には、この場を借りて深く感謝申し上げたい。今年度も残りの事業の安全施工に努め、地域の安心安全の確保に努めていきたい。



図-10 架替を見守る見学者



図-11 架替状況