

ダム湛水池内に架橋されている 4 層ラーメン橋脚の耐震補強について

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○荒木 誠司

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 鈴木 剛

パシフィックコンサルタンツ株式会社 佐藤 喬

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、早期の防災道路ネットワークの構築を目指した橋梁の耐震補強が鋭意実施されている。しかし、本稿で取り上げるダム湛水池内(水深 40m 程度)に架橋される「4 層ラーメン橋脚を有するトラス桁橋」のような特殊橋梁は、一般的な橋梁の耐震補強に比べて整備が遅れており、ネットワーク構築のボトルネックとなっている。本稿では、特殊橋梁の耐震補強の早期実施に向け、当該橋梁のような高橋脚の地震時の挙動の特徴を示し、耐震補強工法を選定する上で留意すべき事象について報告する。

2. 橋梁諸元とダム湛水諸元

検討対象橋梁は、下記に示すような構造諸元を有する橋長 322.0m、全幅員 6.8m の橋梁形式である (図 1 参照)。そのなかで、特に橋脚は、4 層ラーメン橋脚 (H=56.0m) を有する特殊な形式である。

- 上部工 : 2 径間連続ワーレントラス 2 連
- 下部工 : A1 橋台(ラーメン式橋台)
P1~3 橋脚(4 層ラーメン橋脚)
A2 橋台(2 連ラーメン式橋台)
- 基礎工 : 直接基礎 (I 種地盤)

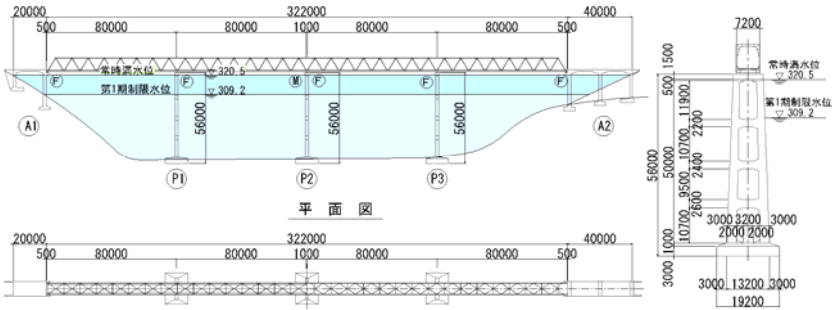


図 1 橋梁諸元

3. 解析手法と耐震性能照査結果

(1) 解析対象及び解析手法

解析対象としては、各橋脚全て同様な躯体形状・配筋状態であることから、最も上部工分担重量が大きい固定支承を有する P1 橋脚(単柱橋脚)を解析対象とした。なお、解析手法については、対象橋脚は高次不静定構造物であり、軸力変動の影響が大きいことより、「ファイバーモデルによる動的非線形応答解析(時刻歴応答解析)」を適用した。

なお、本解析手法で、曲げ損傷については各部材の応力ひずみ状態から詳細に評価することができるが、せん断損傷については直接モデル化できないため、せん断損傷については解析結果から求めたせん断力の時刻歴と断面諸元等より別途求めたせん断耐力を比較することにより判定することとした。

(2) 固有振動解析結果と振動特性

固有振動解析より本橋の卓越振動としては、橋軸方向 3.797 s、橋軸直角方向で 0.623 s となった (表 1 参照)。このように、本橋梁の固有周期は、橋軸方向で非常に長周期となる特性があり、逆に橋軸直角方向では、短周期となる特徴を有する結果となった。

(3) 耐震性能照査手法

道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編では、ひずみによる損傷基準は明記されていないため、プッシュオーバー解析では表 2 の値を用いて判定した。

また、動的応答解析においても、基準ひずみを同様な値として設定し、各部材の損傷状況を把握した上で耐震補強要否の判定を行った。

表 1 卓越モード図

次数	橋軸方向		橋軸直角方向	
	1 次	3 次	2 次	6 次
固有周期	3.797	0.502	0.623	0.165
刺激係数	39.27	19.76	39.48	20.29
減衰定数	0.02	0.02	0.02	0.02
モード図				

表 2 基準ひずみの設定

	基準ひずみ	備考
初降伏	1725 μ	鉄筋 SD345 における降伏点
部材終局時	3500 μ	コンクリート終局ひずみ
橋脚終局時	7000 μ	$\epsilon u \times 2$ 倍、または、各塑性ヒンジ点におけるひずみが全て終局に達した点

キーワード：4 層ラーメン橋脚、ダム湛水池、ファイバーモデル、動的応答解析、耐震補強設計、

連絡先 : 〒060-0807 札幌市北区北 7 条西 1-2-6 パシフィックコンサルタンツ(株)北海道支社 TEL011-700-5224 FAX 011-700-5221

(4) 破壊形態と損傷箇所

当該橋脚におけるプッシュオーバー解析及び動的応答解析による耐震補強結果を以下にまとめる。

1) プッシュオーバー解析による評価

橋軸方向は曲げ破壊型、橋軸直角方向はせん断破壊型となり、両方向とも許容耐力を満足しない結果となった。特に、橋軸直角方向のせん断耐力不足(図2参照)が顕著であった。

2) 非線形動的応答解析による評価

橋軸方向は、鉄筋が一部降伏ひずみに達しているが、最大曲率発生時の断面力をもとに、応答塑性率の照査を実施した結果、十分な耐力を有していた。しかし、橋軸直角方向は、柱部・梁部で、せん断耐力を大きく超過し、脆性的な破壊形態となった。このうち、橋軸直角方向は短周期の振動特性を有しているため、タイプII地震動に関して厳しい結果となった(図3参照)。

4. 耐震補強を実施する上で留意すべき点

(1) 耐震補強工法の選定

対象橋脚はダム湛水池内であり、できる限り巻立て補強せずに対策することが望ましいことから、地震時慣性力が最小となる可動支承への支承交換を想定し補強の要否判定を行った。

その結果、橋軸直角方向のタイプI地震動については、約40%程度の軽減効果が期待されるが、許容値を満足しない状態であった。また、タイプII地震動に関しては、上部工重量による地震時慣性力がなくても耐震性能不足となる結果となった(表3参照)。よって、対象橋脚のような高橋脚は、下部工の自重が支配的となるため、支承交換等による地震時慣性力の低減は効果的ではなく、下部工に断面性能を向上させる補強が必要となることを前提とした工法選定が求められた。

(2) 施工時の仮締切工の選定

前述の通り、本橋は地震時慣性力の低減が不可能な橋脚となるため橋脚補強が必須で、仮締切工(図4参照)を敷設したうえでの施工が必要となった。当該橋梁のように水深40m程度で施工できる仮締切工法は、工法が限定され耐震補強工費に比べ、仮設費が高価となることも懸念された。よって、このような高橋脚において耐震補強を実施する場合、コスト縮減を踏まえ、施工時ダム湛水位の調整、最適な仮締切工の選定等を検討した上で、対策工法を選定することが求められた。

5. おわりに

本稿のような4層ラーメン橋脚の橋軸方向断面は、橋脚高も高く長周期化され耐震補強の必要がない状態となったが、橋軸直角方向は、固有周期も短く直下型の短周期地震動(タイプII)によるせん断耐力不足が顕著(脆性的な破壊)であり、早期の補強が望まれる結果となった。しかし、対象橋梁のようなダム湛水池内の橋梁を耐震補強するにあたっては、ダム湛水の仮締切工が非常に高価であることから、今後は経済性に配慮し、防災道路ネットワークとしての機能を確保できる最低限の性能について十分に検討するとともに、耐震補強案だけでなく、架け替え案、災害時におけるリダンダンシーの確保など、最良な対策案を選定していく必要がある。

参考文献

(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002.3

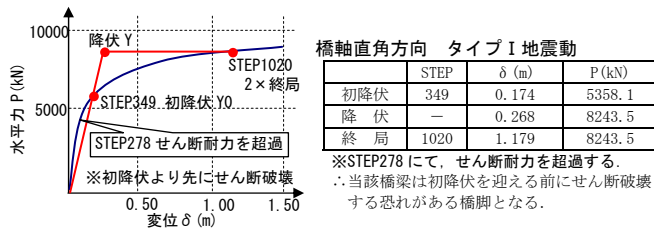


図2 プッシュオーバー解析結果

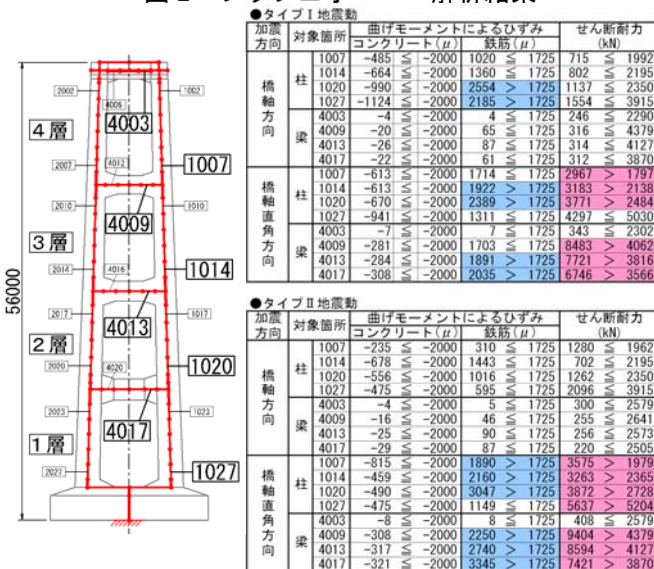


図3 動的応答解析結果

表3 支承交換による照査結果

加振方向	対象箇所	●タイプI地震動			●タイプII地震動		
		コンクリート (μ)	鉄筋 (μ)	せん断耐力 (kN)	コンクリート (μ)	鉄筋 (μ)	せん断耐力 (kN)
橋軸方向	柱	1007 -291 (40%)	819 (20%)	335 (53%)	-152 (35%)	435 - (40%)	1065 (17%)
	1014 -519 (22%)	1309 (4%)	710 (12%)	-586 (13%)	1570 - (9%)	737 - (5%)	
	1020 -860 (13%)	2862 - (12%)	1017 (11%)	-569 - (2%)	1405 - (38%)	1429 - (13%)	
	1027 -1044 (7%)	2446 - (12%)	1387 (11%)	-529 - (11%)	911 - (53%)	2139 - (2%)	
	梁	4003 -4 - (22%)	5 - (23%)	286 - (16%)	-6 - (41%)	7 - (43%)	425 - (41%)
	4009 -19 (2%)	63 (3%)	335 - (6%)	-18 - (13%)	53 - (16%)	431 - (69%)	
橋軸直角方向	柱	1007 -285 (54%)	747 (56%)	1633 (45%)	-487 (40%)	1318 (30%)	1932 (46%)
	1014 -345 (44%)	730 (62%)	2099 (34%)	-497 - (8%)	2081 (4%)	3320 - (2%)	
	1020 -368 (45%)	826 (65%)	2455 (35%)	-374 (24%)	3843 - (26%)	4456 - (16%)	
	1027 -568 (40%)	550 (58%)	3535 (18%)	-524 - (10%)	1179 - (3%)	5110 (8%)	
	梁	4003 -6 (4%)	8 - (23%)	331 (3%)	-9 - (12%)	13 - (63%)	526 - (29%)
	4009 -135 (52%)	801 (53%)	4655 (45%)	-269 (13%)	1556 (31%)	8621 (8%)	
橋軸直角方向	柱	1014 -158 (44%)	967 (49%)	4640 (40%)	-341 - (8%)	3375 - (23%)	8997 - (5%)
	1017 -207 (33%)	1130 (44%)	4695 (30%)	-350 - (9%)	4823 - (44%)	7882 - (6%)	

※ 降伏箇所 許容値超過 () : 低減率

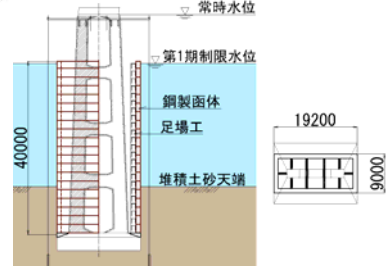


図4 鋼製函体