

第二東名矢作川橋の主桁側斜材定着部における孔あき鋼板ジベル構造と耐荷力確認実験

大成建設株式会社 土木本部 土木設計部 正会員 ○白谷 宏司
 日本道路公団 中部支社 豊田工事事務所 非会員 垂水 祐二
 日本道路公団 中部支社 豊田工事事務所 非会員 佐々木 伸行
 オリエンタル・大成・川田共同企業体 正会員 新井 達夫

1 はじめに

第二東名高速道路の矢作川橋は1面吊りの波形鋼板ウェブ斜張橋であり、主桁側の斜材定着部は、図-1に示すように鋼定着梁・鉛直の鋼壁(シャイベ)、および鋼横桁等により構成される複合構造である。このうち、シャイベとコンクリート床版の接合部においては、下床版側では水平せん断力に加えて鉛直引抜き力が作用し、一方、上床版側では極めて大きな水平せん断力と共に鉛直押し込み力が作用する。

本橋の詳細設計において、この接合部構造には孔あき鋼板ジベル(Perfobond Leisten:以下PBLと呼称)が最適と判断された。しかしながら、せん断力のみでなく引抜き力や押し込み力が同時に作用する場合、また、大きなせん断力に対処するための過密配置や大口径のジベルに対する、既往のPBL耐力評価式の適用性は明らかでない。さらに、これまでのPBLの耐荷性能に対する検討事例は、コンクリート圧縮強度が50N/mm²以下の場合がほとんどであり、本橋のように設計基準強度60N/mm²もの高強度コンクリートを用いたPBLの耐荷性能については十分な検討が行われていない。

そこで、矢作川橋の接合部に作用する断面力を対象にPBL構造に対する載荷実験を行い、実橋で用いる接合部の諸元設定・性能評価を行うとともに、PBLの耐荷力特性に関する新たな技術的知見を得た。

2 実験計画

本橋接合部への適用を検討したPBL構造を表-1に示す。予備検討段階でのこれらのジベル諸元の設定においては、文献1)に示されている耐力評価式

$$Q_u = 1.85A - 106.1 \times 10^3 \quad (1)$$

$$A = \frac{\pi(d^2 - \phi_{st}^2)}{4} f_{cu} + \frac{\pi\phi_{st}^2}{4} f_{st}$$

ここで Q_u : ジベル1孔当たり極限せん断耐力 (N)

d : ジベル孔径 (mm)

ϕ_{st} : 貫通鉄筋径 (mm)

f_{cu} : コンクリート圧縮強度 (N/mm²)

f_{st} : 鉄筋の引張強度 (N/mm²)

に基づき、設計荷重時(斜材張力0.4P_u時(P_u:破断荷重))に対して所要安全率3.0以上となるようにした。

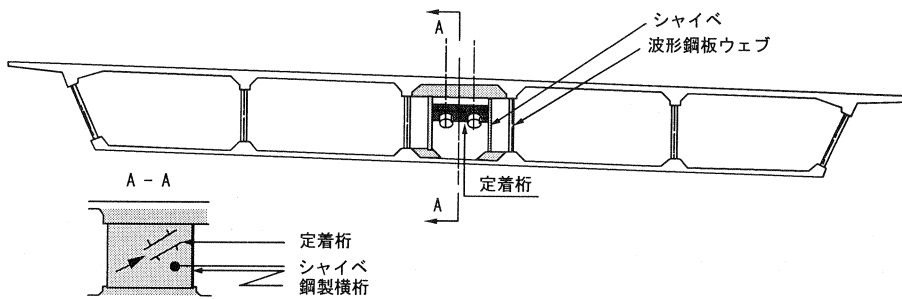


図-1 矢作川橋の主桁側斜材定着部の概要

また、接合部の断面力は、主桁をモデル化した3次元FEM解析により算出した。

下床版側は、上床版側のように2枚のジベル鋼板の並列配置とするとジベル鋼板間のコンクリートの充填性が懸念されたため、1列とした。水平せん断力と鉛直引抜き力の合力に対して、(1)式により耐力を算出し、設計荷重時に対して安全率3.0以上とするため、φ70mmのジベル孔の鉛直2段配置(タイプ1)およびφ120mmのジベル(タイプ2)を基本とした。また、引抜き力への対処として、ジベル孔のかぶりを可能な限り大きく取ることを基本とした。タイプ2'はタイプ2よりかぶりを小さくしたもので、両者の比較により、引抜き力に対するかぶりの効果の把握を試みることにした。タイプ3は、タイプ1・2のいずれも耐力不足となった場合のために、アンカーボルト補強を施したものである。

表-1 実験で対象としたジベル構造タイプ

下床版側	
<p>タイプ1 ジベル径 70mm, 鋼板厚 22mm, 貫通鉄筋 D22</p>	<p>タイプ2 ジベル径 120mm, 鋼板厚 32mm, 貫通鉄筋 D25×2</p>
<p>タイプ2' ジベル径 120mm, 鋼板厚 32mm, 貫通鉄筋 D25×2</p>	<p>タイプ3 ジベル径 120mm, 鋼板厚 32mm, 貫通鉄筋 D25×2</p>
上床版側	
<p>タイプ4 ジベル径 70mm, 鋼板厚 25mm, 貫通鉄筋 D25</p>	<p>タイプ5 ジベル径 70mm, 鋼板厚 25mm, 貫通鉄筋 D25, スタッド M22</p>

実験ケースは、タイプ1および2については、水平せん断力のみ载荷したケース、および水平せん断力と鉛直引抜き力を同時载荷したケースを行って、鉛直引抜き力がジベル挙動に及ぼす影響を観察した。タイプ2'およびタイプ3は、水平せん断力と鉛直引抜き力を同時载荷したケースのみである。上床版側については、タイプ4では水平せん断力のみ载荷したケースと水平せん断力と鉛直押込み力を同時载荷したケースの比較を行い、タイプ5は水平せん断力と鉛直押込み力を同時载荷したケースのみである。なお、後述のように、下床版側はタイプ2、上床版側はタイプ5が、それぞれ実橋への採用に至る構造であり、この2タイプについては、実験耐力の信頼性の確認のため3体ずつ実験を行った。

実験供試体の概念図を図-2に示す。実橋における水平せん断力は、実験では鉛直ジャッキにより载荷した。また、下床版側の場合の鉛直引抜き力は、2基のコンクリート矩体の間に水平ジャッキを設け、これらを引

き離すように水平力を作用させることで載荷した。上床版側の鉛直押し込み力は、2基の矩体をPC鋼棒で結構し、これらを引付けるように緊張力を与えた。

載荷荷重は、設計荷重時 (0.4 P_u時) → 0.6 P_u時 → 終局荷重時 (0.74 P_u時) の順に行ったが、終局荷重時においては、下床版側では引抜き力がジベル耐力を低下させると予想されたため、斜材張力による引抜き力が最大となる最下段斜材定着部の引抜き力をまず載荷し維持しながら、破壊まで水平せん断力を漸増した。上床版側では逆に、鉛直押し込み力はジベル耐力を向上させるため、鉛直押し込み力が最小となる最上段斜材定着部の押し込み力を維持しながら、破壊まで水平せん断力を漸増した。

3 実験結果と考察

表-2は、本実験より得られた各ジベル1孔当りの耐力の一覧である。実験結果より、まず下床版側では、ジベル孔のかぶりが小さいタイプ2'を除いてはいずれも3.0以上の安全率を有し、実橋に適用可能であることが確認された。施工性等を鑑み、実橋にはタイプ2を採用することとした。一方、上床版側では、やはりジベル孔のかぶりを大きくし、さらにスタッド補強も行ったタイプ5を実橋に採用することとした。

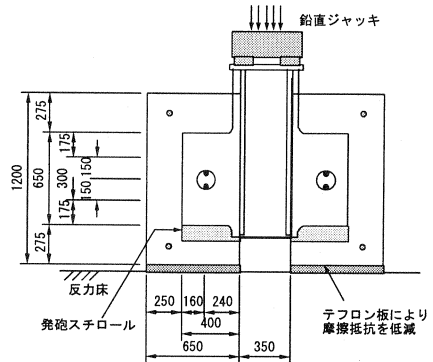


図-2 実験供試体概念図

(1)式による予測耐力と実験耐力を比較すると、ジベル孔を鉛直2段配置したタイプ1では、水平せん断力のみ載荷したケース1-1で予測耐力の77%の耐力であった。その理由として、2段のジベルのうち浅い側のジベルに荷重が集中したことが考えられる。ジベル鋼板のひずみの計測結果から推測される荷重分担比は、浅い側のジベルが深い側の2倍程度であった。φ120mmのジベルを有するタイプ2では、実際の耐力が(1)式のようにジベル面積に比例するのではなく、ジベル径が大きくなるほど単位面積当りの耐力が低下する傾向があること²⁾、貫通鉄筋を1孔に2本配置し、その断面積の合計を(1)式に用いて耐力予測を行ったが、実際にはそのうちの1本の破断により耐力が決まり、2本が均等にジベル耐力に寄与していなかったことなどにより、やはり(1)式による予測値より低い耐

表-2 実験耐力

ケース	ジベル構造	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	破壊時荷重 (kN)			実橋での0.4P _u 時安全率	実験耐力 (i)式耐力
			水平せん断力	鉛直力	実験耐力		
1-1	タイプ1	69	520	—	520	—	0.77
1-2		68	432	188	471	4.29*	0.70
2-1	タイプ2	72	1481	—	1481	—	0.72
2-2		82, 61, 62	1333, 1373	750	1530, 1565	3.24*, 4.19	0.69, 0.84
2-3	タイプ2'	82	187	750	773	1.64*	0.35
3-2	タイプ3	71	2381	750	2497	5.76*	1.22
4-1	タイプ4	82	478	—	478	—	0.57
4-2		84	588	193	588	2.24*	0.69
5-2	タイプ5	61, 64, 62	912	193	912	4.37	1.28

注 1 : 実験耐力は、下床版側では鉛直引抜き力と水平せん断力の合力とし、上床版側では水平せん断力とした。
 2 : 安全率における*の値は、コンクリート圧縮強度が設計基準強度 (60N/mm²) より著しく大きかったため、(1)式により算出される実コンクリート圧縮強度時の耐力と60N/mm²時耐力の比を実験耐力に乗じて補正した。
 3 : ケース2-2の各欄で、左側はコンクリート強度82N/mm²のケースの値、右側は強度61, 62N/mm²のケースの平均値。タイプ5は3ケースの平均値。

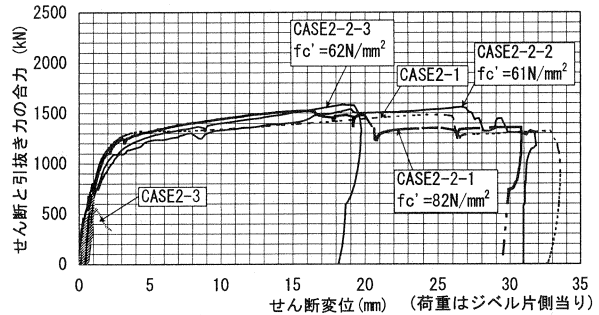
力しか得られなかった。

タイプ1では、ケース1-1が貫通鉄筋の破断により荷重が低下したが、ケース1-2では表面コンクリートの斜めひび割れによる破壊が生じ、耐力が10%程度低下していることから、引抜き力が若干の影響を及ぼしていると考えられる。タイプ2では、ケース2-1、2-2とも破壊形態が貫通鉄筋の破断で同程度の耐力があり、いずれのケースもコンクリート表面には損傷が見られなかったことから、ジベル孔のかぶりを2φ程度取ったことにより、本橋の接合部に対しては十分な引抜き抵抗が得られたと考えられる。一方、タイプ2よりもかぶりを小さくしたタイプ2'では、タイプ2の半分程度の荷重で表面コンクリートが斜め引張破壊し、引抜き力に対する抵抗が極めて小さいことが明らかになった。実験から得られた荷重とせん断変位の関係の一例として、ケース2-1、2-2および2-3の結果を図-3に示す。ケース2-2ではコンクリート強度の異なる3体の実験を行ったが、全てのケースで貫通鉄筋の破断により耐力が決まった等の理由により、ジベル耐力とコンクリート強度の相関は特に見られなかった。しかし、剛性低下はコンクリート強度の低いケース2-2・2-2-3の方が早く始まっており、内部でのひび割れ発生時期とコンクリート強度には相関が見られる。

上床版側のタイプ4では、コンクリート表面に斜めひび割れが生じた直後にぜい性的な破壊が生じ、(1)式から予測される耐力の57%程度の耐力(ケース4-1)しか得られなかった。鉛直押込み力により耐力は向上した(ケース4-2)ものの、それでも(1)式の69%しか耐力はなかった。ケース4-2の最大荷重時の貫通鉄筋ひずみは200μ程度と小さく、実験後の供試体を切断して内部を観察しても、ジベル孔内部のコンクリートや貫通鉄筋に目立った損傷は無かった。従って、このタイプでは、まず、ジベル孔周囲のコンクリートの主引張応力が引張強度を超えてひび割れが発生し、かぶりが浅いために応力再分配によるひび割れの進展が早く、表面にひび割れが達したことで耐荷力が失われたと推測される。そのため、ジベル耐力は(1)式のようにコンクリート圧縮強度と線形の関係となるのではなく、コンクリートの引張あるいはせん断強度との関連性の方が高くなり、(1)式から予測されるほど耐力が上がらなかったと考えられる。ジベルのかぶりを大きくしたタイプ5では、ジベル鋼板、貫通鉄筋およびスタッドが順次降伏したことにより緩やかに荷重が低下し、じん性の高い破壊形態であった。

また、コンクリート表面にはひび割れは見られなかった。

本実験結果より、矢作川橋の斜材定着部に用いる接合部構造の諸元設定および性能評価を行うことができた。また、コンクリート強度が大きい場合、ジベル孔が鉛直2段に配置された場合、鉛直引抜き力が作用する場合など、特殊な条件下でのPBLの耐力特性や、ジベル孔のかぶりがPBLの耐力に及ぼす影響などを明らかにできた。



注：ケース2-2-3は、内部切断調査のため最大荷重直後に載荷終了

図-3 荷重-変位曲線(ケース2-1~2-3)

謝辞：本検討におきましては、早稲田大学の依田照彦教授より多大なるご指導を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：構造工学シリーズ11 複合構造物の性能照査指針(案)，2002。
- 2) 新谷英司，蛭名貴之，上平謙二，柳下文夫：波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，pp.91-96,1999。