

## 鋼桁に開孔してジベル効果を期待した鋼ポータルラーメン橋の隅角部の設計

西日本高速道路 正会員 細木 康夫      ドーユー大地 フェロー 坂手 道明  
西日本高速道路 正会員 和田 圭仙      ドーユー大地                      関 宏一郎

### 1. まえがき

阪和自動車道下谷池橋は、図-1 と図-2 に示す鋼桁を RC 橋台に埋め込んだ鋼ポータルラーメン橋で計画された。本基本設計では、隅角部の結合構造の合理化を考え、鋼桁ウェブと鋼桁フランジに直接 PBL（孔あき鋼板ジベル）を採用した。この時、鋼桁を取り囲む鉄筋コンクリートによる拘束効果を期待するとともに、PBL に対する貫通鉄筋を用いないことで、施工性と経済性を追求した。

ここでは、基本設計時の隅角部の設計方法について報告する。本構造の設計法については、その妥当性を検証するため実験を行なった。試験結果については別報で報告する。

### 2. 基本設計

本設計では、剛なジベルである PBL の特性に着目し、桁と RC 橋台の隅角部の結合に PBL を採用した。この時、本設計では、施工性と経済性から桁本体に孔を設けることで PBL として機能する構造を提案している。すなわち、リブを溶接するのではなく、鋼桁ウェブとフランジに直接孔を開孔し、PBL のジベル効果を期待した。本設計では、リブ(Leisten)を用いていないため PBL の L を付けるのは訳語としては適していない。しかしながら、分かり易さを考え、ここでは PBL を用いる。本設計は、鋼桁本体に孔を明けるため、溶接で取り付ける PBL よりも疲労耐久性が高く、このことも本構造の特色となっている。

隅角結合部の設計は、橋台の前面の位置での鋼桁の断面力、すなわち曲げモーメント(M)、せん断力(S)、軸力(N)で設計する(図-3)。以下に PBL の必要孔数が決定された曲げモーメントに対する設計法を説明する。本設計では、この曲げモーメントに対して PBL だけで抵抗するとして設計した。上下フランジ PBL および桁高 h のうち両端の h/4 の間に配置されたウェブ PBL を有効とし、曲げモーメントに抵抗する PBL のせん断抵抗の向きを、桁軸に平行と仮定し設計を実施した。そうすることで、抵抗曲げモーメントを PBL の耐力の偶力(Pm)として求めることができる。PBL の耐力としては、Leonhardt らが提案した下記の設計式を用いて設計した。

$$P_u = 1.4d^2 c_k \quad P_a = P_u / 2.1$$

ここに Pa : 1 孔の PBL の許容せん断耐力

Pu : 1 孔の PBL の終局せん断耐力

d : 孔径

ck : コンクリート設計基準強度(円柱試験体)

Leonhardt らは、貫通鉄筋に限定していないが、鉄筋で周囲のコンクリートを拘束して、載荷に伴う鋼板の垂直方向のコンクリートの広がりを拘束することを前提としこの耐力式を提案している。すなわち、この鉄筋を鋼板に垂直な方向に、しかし、孔には貫通させずに孔あき鋼板の外に配置する方法も想定している。拘束力を前提として耐力を設定していることには変わりはない。本設計でも、貫通鉄筋を用いずに鋼桁を囲む鉄筋コンクリートによる拘束効果を期待して設計を行ったので、Leonhardt らが提案する式を基に設計を行なった。

一方、対象構造での応力状態は、図-4 a) ~ c) に示すような純粋なせん断状態ではなく、フランジ面に曲げによる支圧応力が働く。一方、鋼板とコンクリートが離れる現象も生じるが、周囲の鉄筋の配置によって、この離れようとする現象が拘束される。この拘束条件について、表-1 に下谷池橋の場合の隅角部の上下フランジとウェブの孔と、合成桁の床版と桁を合成するために溶接されるリブの孔に対してまとめる。

キーワード： 鋼ポータルラーメン橋，孔あき鋼板ジベル，拘束効果

連絡先： 〒530-0003 大阪市北区堂島 1-6-20 堂島アバンザ 18F TEL 06-6344-9617 FAX 06-6344-9929

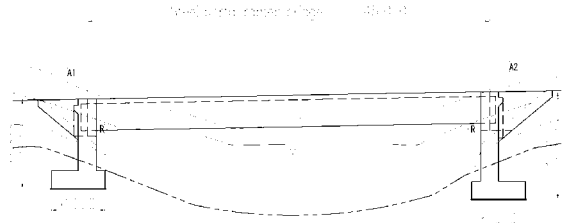


図-1 下谷池橋 側面図

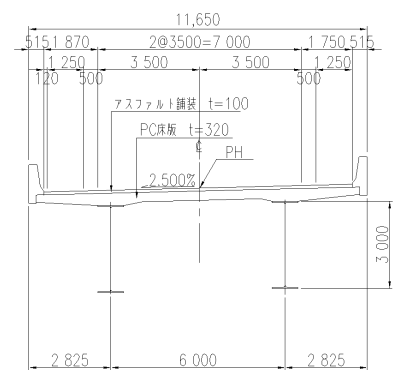


図-2 断面図

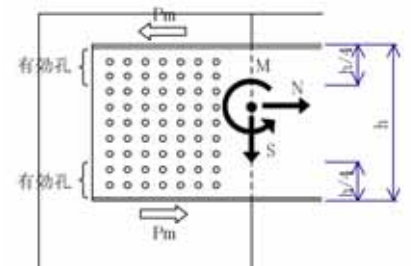


図-3 隅角部の断面力

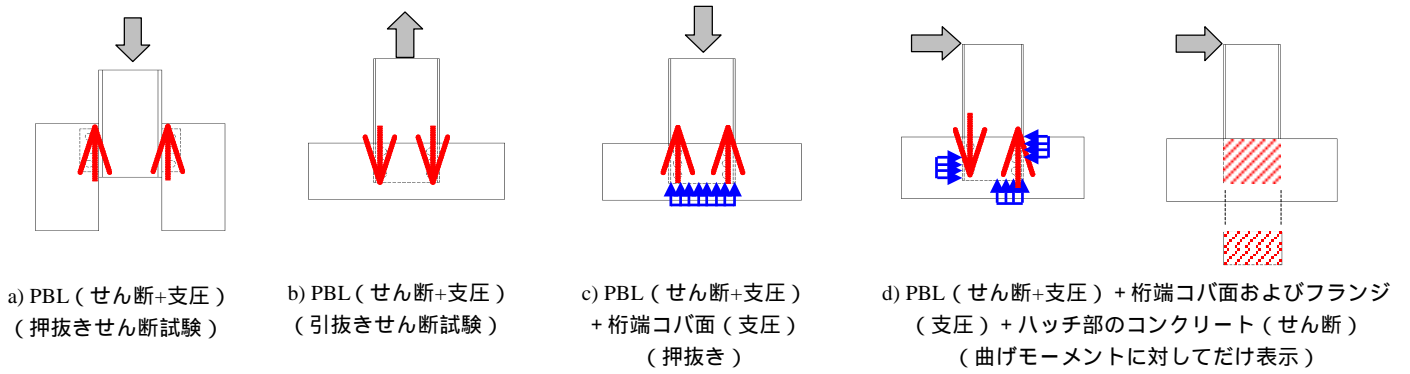


図-4 抵抗機構の違い

表-1 で鋼板に対する応力方向の実際の場合、曲げに対して抵抗すると考えられる応力についてまとめた。この表に示した想定される拘束に対して、基本設計では、拘束力が期待出来るとして、さらに、PBLのせん断抵抗だけで曲げに抵抗すると仮定して設計を行なった。なお、この表に示すように、上述の鋼板とコンクリートが離れる現象で拘束力が若干低下し、PBLの耐力が低下することが考えられた。このため、安全率を確保する視点から、Leonhardtらの提案する式の角柱試験体によるコンクリート強度に対して、円柱試験体強度を用いることにした。この結果、Leonhardtらの提案式の耐力の86%になっている。

表-1 応力方向と PBL の拘束効果

適用部材		鋼板に対する応力方向		試験モデル	拘束効果
		設計	実際		
下谷池橋	上フランジ	桁軸	桁軸 (PBL) + フランジ面に垂直 (支圧:上側)	d)	上側:床版 (自由) 下側: H 形鋼の内側(拘束)
	ウェブ	桁軸	桁軸 (PBL)	d)	両側:壁 (拘束)
	下フランジ	桁軸	桁軸 (PBL) + フランジ面に垂直 (支圧:下側)	d)	上側: H 形鋼の内側(拘束) 下側:壁 (拘束) (浮き上がる場合:自由)
合成桁	溶接リブ	桁軸	桁軸 (PBL)	a)	両側:床版 (拘束)

表-2 に PBL の孔一つ当たりの耐力に対する他の提案式を示す。表には、Leonhardt らの提案式に対する比率も示してある。この表から分かるように、本設計では、比較的高いと考えられる Leonhardt らが提案している式を経済性の視点から採用している。対象構造では、図-4 から分かるように、曲げに対してはフランジ面の支圧抵抗が存在する。この支圧抵抗は、載荷荷重が増加するとともに増加する。しかしながら、基本設計の段階では、この支圧抵抗に対する情報が不十分であったため、基本設計では、このフランジ面への支圧による抵抗を考慮せずに設計を行なった。本基本設計では、比較的高い Leonhardt らの提案式を用いたが、この支圧抵抗を無視して設計していることから安全性は確保されるものと考えた。

また孔径、孔間隔については、終局時の十分なじん性を確保するため、鋼が先に破断しないことを条件にした JH 鋼製フィンガージョイント設計指針を参考として下記の式を満足するように設計した。

$$p \leq d + (0.63d^2_{ck}) / (f_y t)$$

ここに p : 孔間隔 d : 孔径

ck : コンクリートの設計基準強度

(円柱試験体)

fy : 鋼材の設計降伏応力

t : 鋼材の板厚

### 3. まとめ

ここでは基本設計時の孔明き鋼板ジベルの基本的な考え方について述べた。今後、実験結果を基に、設計法の検討を行い、合理的な設計法を確立することを考えている。

表-2 PBL のせん断耐力式

提案者	せん断耐力式	比率
Leonhardt ら	$Q_u = 1.4d^2_{wn}$ $= 1.62d^2_{ck}$	1.00
JH	$Q_u = 0.9d^2_{ck}$	0.55
本間ら	$Q_u = 1.43d^2_{wn}$ $= 1.78d^2_{ck}$	1.10
保坂ら (貫通鉄筋あり)	$Q_u = 1.85A - 106.1 \times 10^3$ $A = (d^2_{st} - t^2_{st}) / 4 \cdot f'_{cd} + t^2_{st} / 4 \cdot f_{st}$ $56 \times 10^3 \leq A \leq 380 \times 10^3$	0.78
保坂ら (貫通鉄筋なし)	$Q_u = 4.31A - 121.0 \times 10^3$ $A = d^2 / 4 \cdot (t/d) \cdot f'_{cd}$ $40 \times 10^3 \leq A \leq 200 \times 10^3$	0.36
本設計 (下谷池橋)	$Q_u = 1.4d^2_{ck}$	0.86