

ケーソン基礎頂版の合理的設計法の開発

構造物技術研究部コンクリート構造

研究室長 谷村幸裕

1. はじめに

ケーソン基礎は、長大橋の河川内橋脚に多く用いられているが、ケーソン基礎の頂版は、耐震設計において想定すべき地震力の増大にともなって、頂版厚や鉄筋量が増大する傾向にある（図1参照）。

一般に、頂版は、地震時のせん断設計により断面諸元が決定するが、頂版特有の軸力と曲げを同時に受ける場合のせん断破壊に関するメカニズムの検討は、これまでに十分に行われていなかった。そこで、本研究では、荷重実験および FEM 解析により、軸力と曲げを同時に受ける頂版のせん断耐力の解明を行い、合理的な設計法を開発することとした。

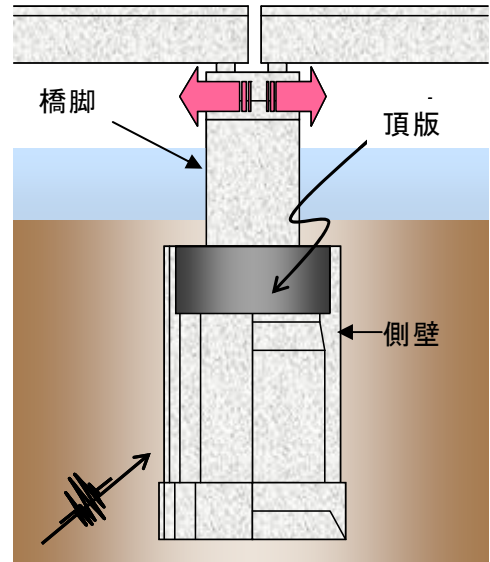


図1 ケーソン基礎

2. 荷重実験

2.1 実験の概要

荷重実験では、橋脚、頂版および側壁からなる供試体を製作し、軸力と曲げの同時荷重により、頂版のせん断耐力、および破壊形態に関する検討を行った。

2.2 実験結果

供試体の諸元を表1に、荷重装置図を図2に示す。円形橋脚タイプのNo.1供試体の頂版に作用するせん断力と沈下量の関係を図3に、頂版の下面の沈下量の分布を図4に示す。軸力 $2N_d$ (設計軸力の2倍相当) のとき、押し込み側の頂版 (押し込み側を頂版中心から正の方向とする) の沈下量が増大しており、 $2N_d$ のときに頂版がせん断破壊したと考えられる。また、矩形橋脚タイプのNo.2供試体においても $2N_d$ のときに、頂版の沈下量が増大し、せん断破壊に達したと考えられる。

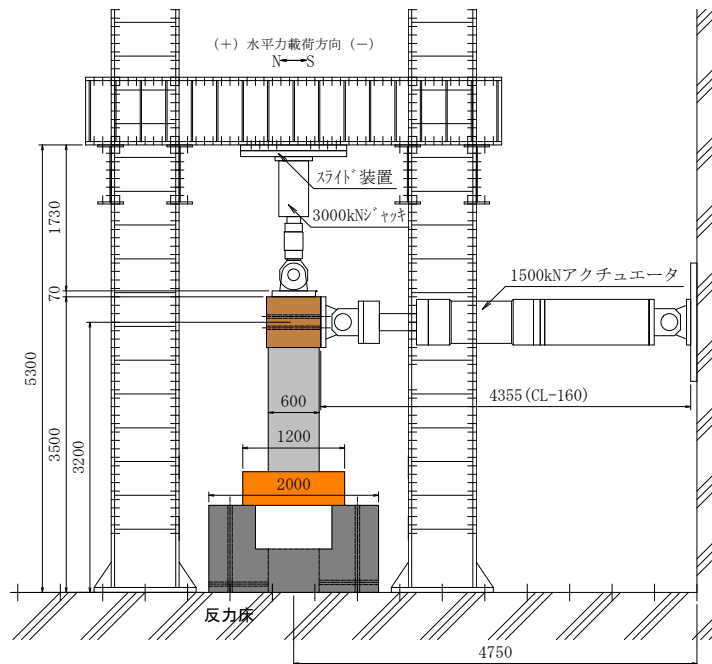


図2 荷重装置図 (mm)

表1 供試体諸元

単位 (mm)

供試体	橋脚		頂版		側壁	軸力
	形状	平面寸法	平面寸法	高さ	内径	
No.1	円形	φ 600	φ 1200	400	φ 900	1N _d
No.2	矩形	400×700	φ 1200	400	φ 900	2N _d

1N_d : 設計軸力相当 ($\sigma_n = 2.7\text{N/mm}^2$)

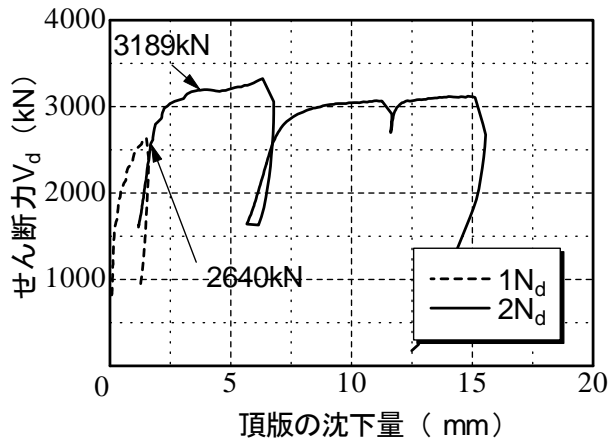


図3 せん断力-沈下量関係 (No. 1)

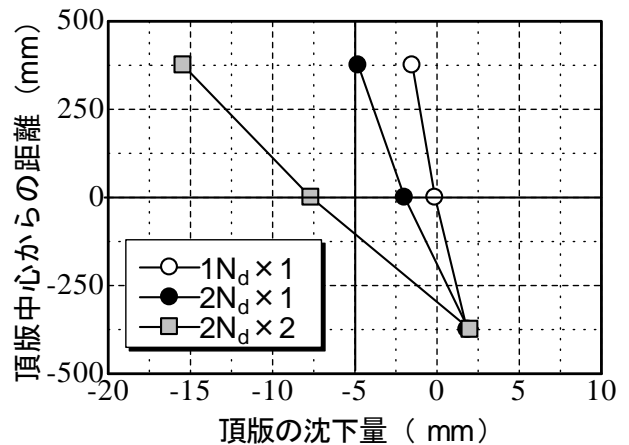


図4 頂版の沈下量分布 (No. 1)

3. 設計法の提案

3.1 頂版のせん断力およびせん断耐力

地震時において頂版には、鉛直力と水平力を受ける橋脚く体を介して力が作用するが、せん断耐力だけでなくせん断力も精度よく算定して照査することが重要となる。そこで、両者の算定法についてそれぞれ検討した。

3.2 せん断力の算定法

頂版のせん断力については、平成16年改訂の鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)に基づき、橋脚基部の支圧力を、新たなせん断力として算定する方法を提案した(図5参照)。現行の設計法では、全断面有効の仮定のもと、頂版支持部の支圧応力を積分することによってせん断力を算定するが、提案の方法では、コンクリートの引張を無視したRC計算に基づく橋脚基部の支圧応力より算定するため、実際の応力状態に即した算定と考えられる。

3.3 せん断耐力の算定法

頂版のせん断耐力の算定においては、載荷実験において観察された頂版内部のひび割れ性状に

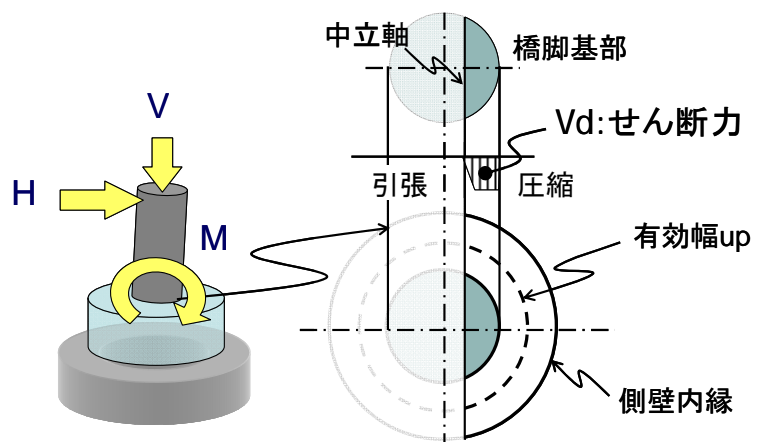


図5 頂版に作用するせん断力の算定法

に基づいて新たな有効幅を提案した。No.1 供試体のひび割れ性状，および提案の有効幅を現行の有効幅とともに図6に，提案したせん断耐力の算定式を式(1)に示す。図6より，頂版内部において，橋脚基部の中立軸付近を中心に楕円形のひび割れ面が形成されることがわかる。頂版内のひび割れ性状より，軸力と同時に曲げを受ける頂版においては，軸力のみ受ける面部材の押抜きせん断破壊と同様，閉じた形状の破壊面が形成されることがわかった。つまり，せん断力に対しては，押込み側だけでなく，現行の設計法において考慮していない引抜き側においても抵抗すると考えられる。なお，矩形橋脚タイプの No.2 供試体においても同様のひび割れ性状が観察された。

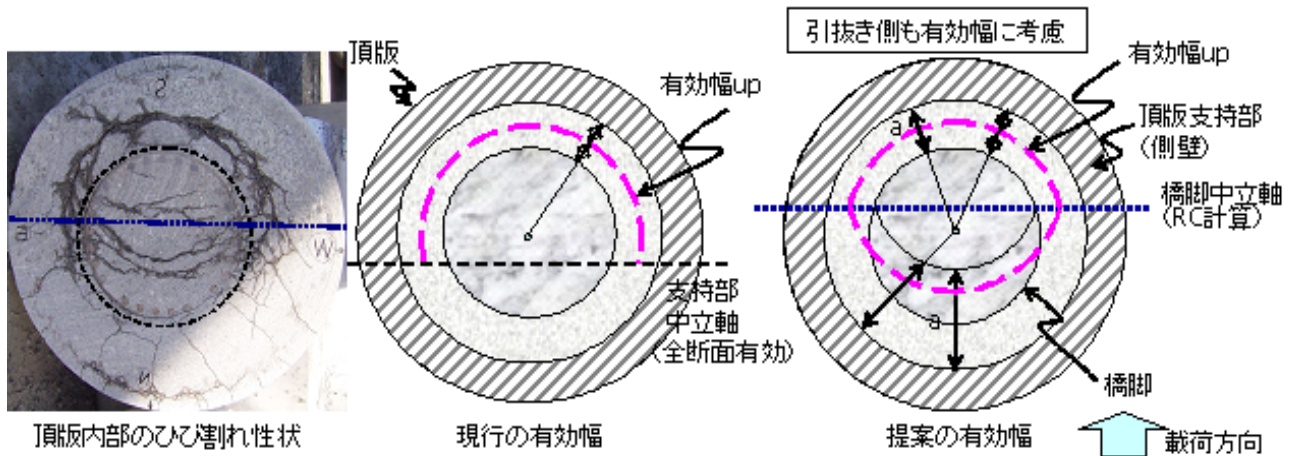


図6 頂版水平面のひび割れ性状，および設計で用いる有効幅 (No. 1)

$$V_y = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot u_p \cdot d \dots\dots\dots (1)$$

ここに， V_y ：頂版のせん断耐力，

β_d ：有効高に関する補正係数 ($= \sqrt[4]{1000/d} \leq 1.5$)

β_p ：引張鋼材に関する補正係数 ($= (1 + \sqrt{100 p_c})/2 \leq 1.5$)

β_a ：せん断スパン比に関する補正係数

($= 5 / \{1 + (a/d)^2\}$) ($a/d \geq 0.3$)

($= (6 - 3.33 a/d) / \{1 + (a/d)^2\}$) ($a/d < 0.3$)，

f_{dd} ：せん断強度 ($= 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$) (N/mm^2)

u_p ：有効幅

d ：有効高さ

3.4 数値解析による検討

実験では荷重中の状況が観察できないため，3次元の非線形有限要素解析により，荷重実験により観察された引抜き側のひび割れの発生および頂版内に形成される圧縮ストラットや三次元的な耐荷機構が荷重中に形成されるかどうかを検討した。コンクリートは，材料非線形を考慮したソリッド要素，鉄筋はバイリニアのトラス要素とした(図7参照)。解析によって得られた，頂版水平面の最大主ひずみを実験により観察されたひび割れ図とともに図8に示す。引抜き側においても，押込み側と同様に最大主ひずみが卓越し，圧縮ストラットが形成されていることがわかる。

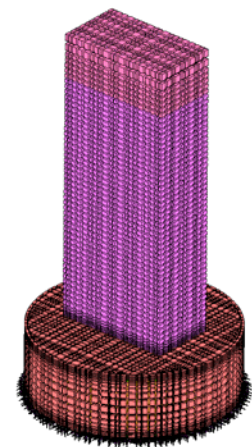


図7 要素分割

解析によって得られた，頂版水平面の最大主ひずみを実験により観察されたひび割れ図とともに図8に示す。引抜き側においても，押込み側と同様に最大主ひずみが卓越し，圧縮ストラットが形成されていることがわかる。

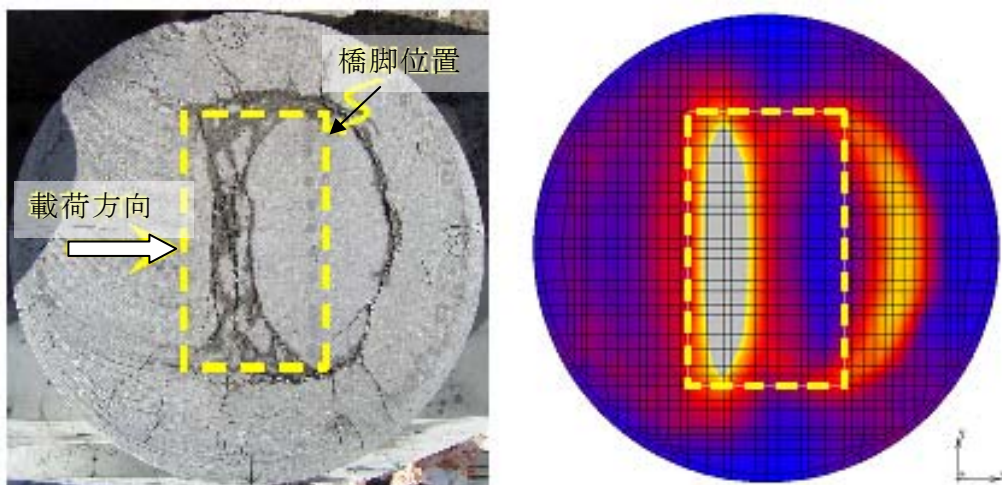


図8 ひび割れ状況（実験）と最大主ひずみ分布（解析）

表2 提案の設計法による算定値および照査値
 （せん断力（kN）／せん断耐力（kN）＝照査値）

供試体	1N _d	2N _d
No.1（円形橋脚）	4,449／3,820=1.16	5,045／4,059=1.24
No.2（矩形橋脚）	4,876／4,427=1.10	5,413／4,564=1.19

3.5 提案の設計法の検証

提案の設計法の妥当性を部材実験の結果を用いて検証した。提案の設計法にしたがって算定した頂版に作用するせん断力，せん断耐力，および照査値を表2に示す。せん断破壊に至った2N_dにおける照査値は1.24，1.19となり，提案の設計法は，せん断破壊を安全側に評価できることが確認できた。

さらに，実構造物を想定した試計算により，提案の方法により設計された頂版の経済性について検証した。提案の設計法は，現行の設計法に対し，頂版厚において10%，または，引張鉄筋段数において2段程度の削減効果があることを確認した。

以上のように，提案の設計法により，ケーソン頂版が合理的に設計できることを実験，および解析により検討し，試計算によってその経済的效果を確認することができた。

4. まとめ

ケーソン頂版のせん断力，およびせん断耐力に関する新たな設計法を提案した。せん断耐力の算定においては，実験により観察されたひび割れ性状より，現行の設計法では考慮されていない引抜き側領域における有効幅を提案した。そして，提案した設計法を，数値解析によって検証し，提案した設計法の精度，および経済性が向上することを明らかにした。