

RC 中空床版橋の床版耐荷力に関する諸検討

西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社
西日本高速道路株式会社
西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社

正会員 ○上田 憲寿
岩谷 祐太
上岡 一成

1.はじめに

現在、RC 中空床版橋のボイド上面かぶり不足は、多配列地中探査レーダー（高速移動型 3D-Radar）によりボイド上面かぶり不足が具体化（顕著化）され、かぶりが不足する橋梁が多く存在する。多くの橋梁では所定のかぶりが確保されていないものの、ボイド上面部分でのポットホールやボイド抜け落ち事象が発生していないのが現状である。また、RC 中空床版橋のボイド上面かぶり不足に対する諸検討が多くなされている中、本検討ではボイド径とボイドかぶりおよび活荷重載荷位置等の相違による床版耐荷性能や床版破壊メカニズムを FEM 解析により確認した結果を報告する。

2.RC 中空床版の床版耐荷力検討

2.1 2次元線形 FEM 解析

(1)検討概要 既設の中空床版橋のボイド上面かぶり不足に対して、今後の補修対策のボイド上面かぶりの閾値を設定することを目的に、2次元線形 FEM 解析により、床版部における応力性状の把握を行なった。表-1 に検討ケース、図-1 に活荷重載荷位置を示す。

(2)解析モデル 2次元線形解析モデルは、図-2 に示すようにコンクリート（ $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ ）のみをモデル化した線形部材とした。橋軸方向の解析要素幅は、図-3 に示すように荷重載荷位置からボイド上面まで 45 度分布するものと仮定した厚さで設定した。また、解析モデルの拘束条件においてもピン・ローラー、バネ支持の両ケースの検証を実施し、主版下面の支持条件を設定した。

(3)解析結果 表-2,3 に 2次元線形 FEM 解析のボイド径 600、800mm の解析結果を示す。解析結果からは、かぶりが同じ場合においても、ボイド径が異なると活荷重載荷位置によって発生する断面力が大きく異なる傾向を示した。これは、ボイド径が大きくなるにつれ、活荷重がボイド全体に載荷されることとなり、ボイド上面部に大きな応力が発生するためであると考えられる。これらの結果を踏まえ、図-4 に示すようにボイド上面に発生するコンクリート引張力に対して既設鉄筋が抵抗するものと仮定し、必用鉄筋本数を検討した結果を表-4,5 に示す。なお、既設鉄筋は D13（SR235）、引張力許容値 140N/mm^2 とした。この結果、表-5 に示すように、コンクリート引張力に対して引張り領域内に鉄筋が 1 本でも配置されていれば、コンクリート引張に対して抵抗できることがわかった。

表-1 モデルおよび検討ケース一覧

ボイド径 ϕ (mm)	桁高 H (mm)	上面かぶり T1 (mm)	下面かぶり T2 (mm)	要素幅 B (mm)
600	800	50	150	450
		70	130	490
		100	100	550
700	900	50	150	450
		70	130	490
		100	100	550
800	1100	50	250	450
		70	230	490
		100	200	550
		120	180	590

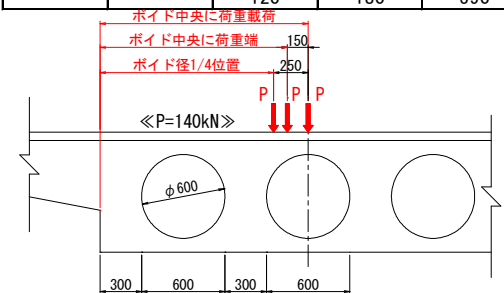


図-1 活荷重載荷位置

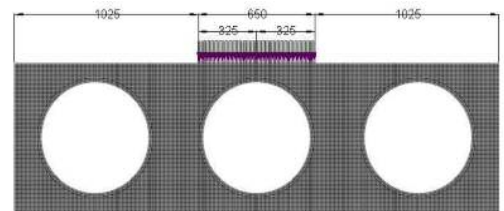


図-2 2次元線形 FEM 解析モデル

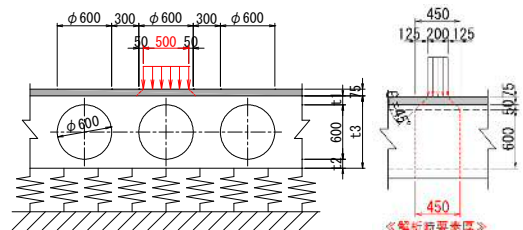


図-3 載荷図・拘束条件・要素厚の設定

キーワード RC 中空床版橋、ボイド上面かぶり、FEM 解析、床版耐荷機構

連絡先 〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町 5-4 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) TEL 072-631-5335

表-2 ボイド径 600 の解析結果

	ボイド径600mm		
かぶり厚	50mm	70mm	100mm
変形量	ボイド中央 0.1158mm	ボイド中央 0.0830mm	ボイド中央 0.0577mm
曲げ応力 (N/mm ²)	ボイド中央に荷重端 2.755N/mm ²	ボイド中央に荷重端 1.998N/mm ²	ボイド中央に荷重端 1.406N/mm ²
せん断応力 (N/mm ²)	ボイド径1/4位置 1.942N/mm ²	ボイド径1/4位置 1.408N/mm ²	ボイド径1/4位置 0.950N/mm ²

表-3 ボイド径 800 の解析結果

	ボイド径800mm			
かぶり厚	50mm	70mm	100mm	120mm
変形量	ボイド中央 0.1845mm	ボイド中央 0.1280mm	ボイド中央 0.0857mm	ボイド中央 0.0694mm
曲げ応力 (N/mm ²)	ボイド中央に荷重端 3.457N/mm ²	ボイド中央に荷重端 2.484N/mm ²	ボイド径1/4位置 1.716N/mm ²	ボイド径1/4位置 1.418N/mm ²
せん断応力 (N/mm ²)	ボイド中央 2.232N/mm ²	ボイド中央 1.652N/mm ²	ボイド中央 1.151N/mm ²	ボイド中央 0.938N/mm ²

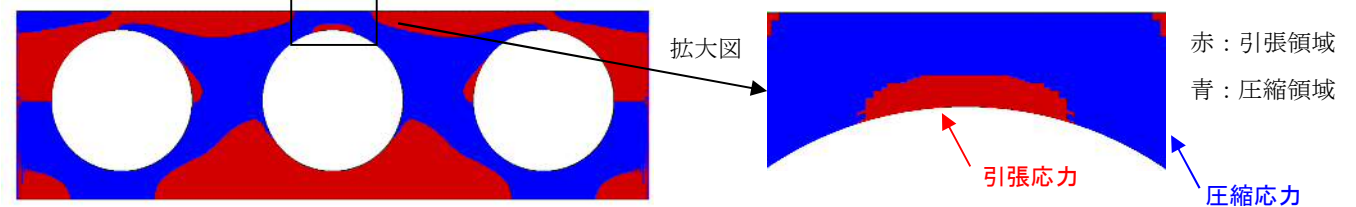


図-4 曲げ応力コンター図

表-4 コンクリート引張力の集計

軸力合計(N) : Σ (引張応力(N/mm ²) × 高さ(mm) × 要素幅(mm))					
ボイド径	かぶり	要素幅	荷重載荷位置		
			ボイド中央	ボイド径1/4	中央に荷重端
600	50	450	7140	8476	10035
	70	490	9414	10561	10599
	100	550	11931	12530	11575
800	50	450	10062	11872	11240
	70	490	12735	13220	12016
	100	550	14888	14367	12716
	120	590	16328	15261	13356

表-5 必要鉄筋本数の算出 (本)

鉄筋本数: 軸力合計 / σ_r / A_s					
ボイド径	かぶり	要素幅	荷重載荷位置		
			ボイド中央	ボイド径1/4	中央に荷重端
600	50	450	0.403	0.478	0.566
	70	490	0.531	0.595	0.598
	100	550	0.673	0.706	0.653
800	50	450	0.567	0.669	0.634
	70	490	0.718	0.745	0.677
	100	550	0.839	0.810	0.717
	120	590	0.921	0.860	0.753

2.2 2次元非線形 FEM 解析

(1) 検討概要 2次元線形 FEM 解析で得られた結果は、弾性領域での挙動を評価したものであり、RC 中空床版橋のボイド上面かぶりコンクリート部分、ボイド本体への破壊機構（形態）を把握できない。このため、非線形 FEM 解析により RC 中空床版橋の破壊形態を把握することとした。また、RC 中空床版橋のボイド上面の床版耐荷機構は、曲げ部材からボイドのアーチ作用によって軸力に移行するものとされており、非線形解析によりその挙動を把握することを目的とした。

(2) 解析モデル 2次元非線形解析モデルは、表-6 に示すようにボイド径 600,800mm の 2 ケースに着目し、コンクリート強度は 24N/mm² として、コンクリート材料特性は回転ひび割れ弾塑性モデル、鉄筋は SR235、鉄筋径 D13 として鉄筋間隔 125mm として、鉄筋材料特性はバイリニア曲線によりモデルを設定した。

(3) 解析結果 表-7 に非線形解析のボイド径 800mm の解析結果を示す。破壊メカニズムは、ボイド上面かぶり部のひび割れ⇒下床版のひび割れ⇒荷重直下圧壊⇒ボイド上縁圧壊のメカニズムであり、ボイド部のアーチ作用により下床版へ応力伝達がなされていることが確認できた。

3. まとめ 2次元線形 FEM 解析の結果より、ボイド上面のコンクリート部の陥没事象の損傷メカニズムを推察すると、ボイド上面コンクリートの引張領域内に既設鉄筋が配置されておれば、コンクリート引張力に対して既設鉄筋が抵抗することとなり、ボイド上面の陥没等の抑制する効果が期待されると考えられる。また、2次元非線形 FEM 解析の結果からは、ボイド断面の形状が理想的な状態であれば、アーチ作用により通常の荷重下ではボイド上面コンクリートの陥没には至らないことを確認した。このことから、今後、押し抜きせん断やボイドが変形している条件などにおける耐荷力など、複合的な条件下においての検討を行い、ボイド上面コンクリートの抜け落ちに対する対策を検討していく必要があると考える。

表-6 モデルおよび検討ケース一覧

ボイド径 ϕ (mm)	桁高 H(mm)	上面かぶり (mm)	活荷重位置	要素幅 B(mm)
600	800	50	・ボイド中央	450
		100	・ボイド中央に荷重端	550
800	1100	50	・ボイド中央	450
		100	・ボイド中央に荷重端	550

表-7 非線形解析結果

STEP	荷重 倍率	荷重 (kN)	かぶり50mm, ボイド直上		かぶり50mm, ボイド中央に荷重端	
			変位 (mm)	イベント	変位 (mm)	イベント
1	0.00	0	0.001		0.001	
2	0.50	50	0.066		0.051	
3	1.00	100	0.132	上床版ひび割れ開始	0.101	上床版ひび割れ開始
5	2.00	200	0.273		0.210	
10	4.50	450	0.711	下床版ひび割れ開始	0.537	下床版ひび割れ開始
11	5.00	500	0.817	荷重直下圧壊開始	0.614	
12	5.25	525	0.876		0.656	
13	5.50	550	0.939		0.699	荷重直下圧壊開始
14	5.75	575	1.021		0.745	
16	6.25	625	1.222		0.846	ボイド上縁圧壊開始
20	6.80	680	1.564	ボイド上縁圧壊開始	0.974	