

第2回 円筒型わくを使用したコンクリート橋に関する技術検討委員会
委員会資料

平成20年3月27日

国土交通省
東日本高速道路株式会社
中日本高速道路株式会社
西日本高速道路株式会社

目 次

1. コンクリート打設試験の結果
2. 実橋への影響検討
3. FEM解析結果
4. 床版用円筒型わく試験 (JHS401) について

1 . コンクリート打設試験の結果

- 1- 1. コンクリート打設試験ケース
- 1- 2. 供試体の形状寸法
- 1- 3. コンクリート打設手順
- 1- 4. 変形等の計測位置
- 1- 5. 打設試験結果
- 1- 6. 鉛直方向変形図
- 1- 7. 水平方向変形図
- 1- 8. コンクリート打設試験結果のまとめ

1-1. コンクリート打設試験ケース

型わく径 D (mm)	(株)栗本鐵工所製円筒型わく				フジモリ産業(株)製円筒型わく	
	板厚		試験ケース		板厚	試験ケース
	t (mm)	t (mm)	t	t	t (mm)	t
550	0.6	0.5 (-0.1)			0.6	
750	0.7	0.6 (-0.1)	-		0.8	-
800	0.8	0.7 (-0.1)	-		0.8	-
900	1.0	0.8 (-0.2)			1.0	
1,150	1.2	1.0 (-0.2)	-		1.2	-
1,200	1.2	1.0 (-0.2)	-		1.2	-
1,300	1.6	1.2 (-0.4)			1.2	
合計			3ケース	7ケース		3ケース

注1) t : カタログ記載の標準板厚
t : カタログ記載の標準板厚を下回る板厚

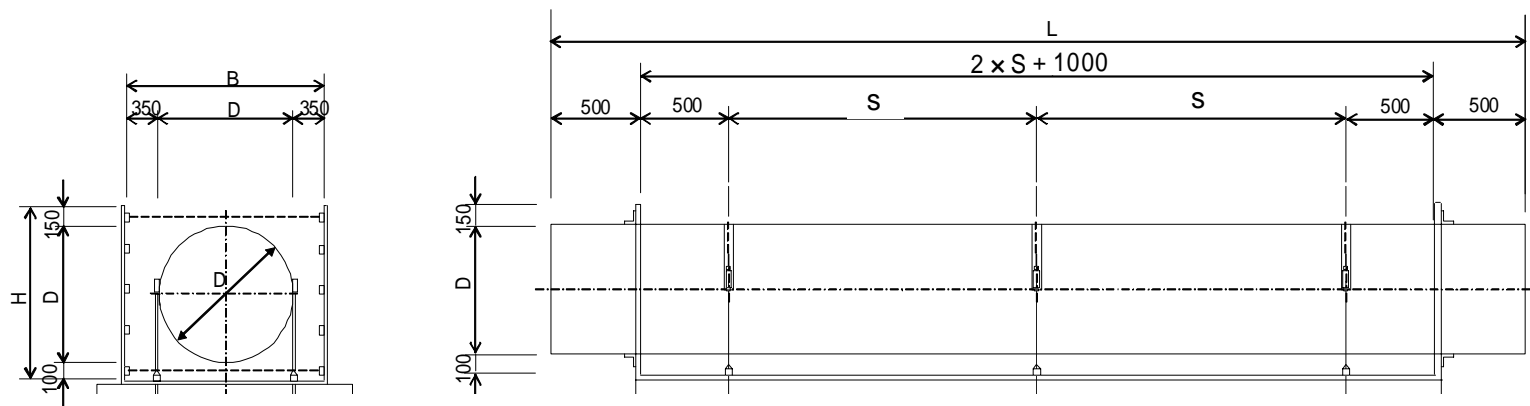
注2) コンクリート打設試験供試体は各ケース2体

注3) フジモリ産業(株)製円筒型わくは、JHS401試験結果に基づき
第1回委員会の試験ケースから追加

注4) は、補強リングあり

1-2. 供試体の形状寸法

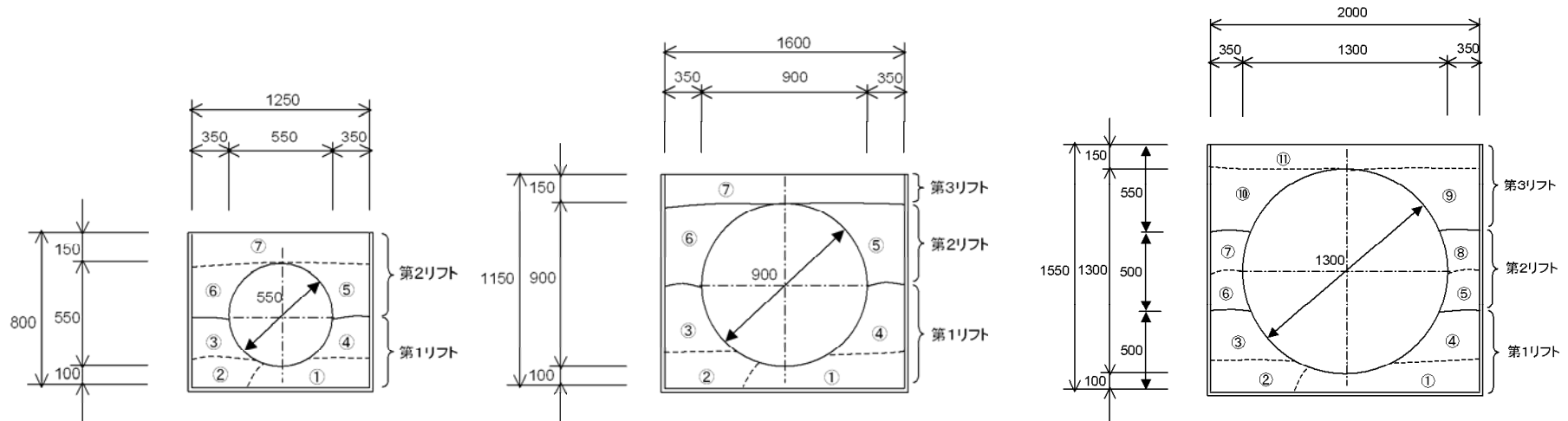
口径 D (mm)	固定バンドの間隔 S (m)	供試体寸法		
		B (mm)	H (mm)	L (mm)
550	2.00	1,250	800	6,000
750	2.00	1,450	1,000	6,000
800	2.00	1,500	1,050	6,000
900	1.65	1,600	1,150	5,300
1,150	1.15	1,850	1,400	4,300
1,200	1.10	1,900	1,450	4,200
1,300	1.00	2,000	1,550	4,000



(単位: mm)

1-3. コンクリート打設手順

- (1) 実際の橋りょう施工を模擬するため、コンクリートポンプ車による打設とした。
- (2) 打設順序は下図のとおりとし、実際の橋りょう施工におけるコンクリート打設における立ち上り速度を再現するため、2または4体の供試体を並行して打設した。
 例：供試体[1]第1リフト 供試体[2]第1リフト 供試体[3]第1リフト
 供試体[4]第1リフト 供試体[1]第2リフト 供試体[2]第2リフト …
- (3) なお、1リフト当りの高さを50cm以下としたことから2リフトとしたのは口径550・750・800、3リフトとしたのは口径900・1150・1200・1300である。



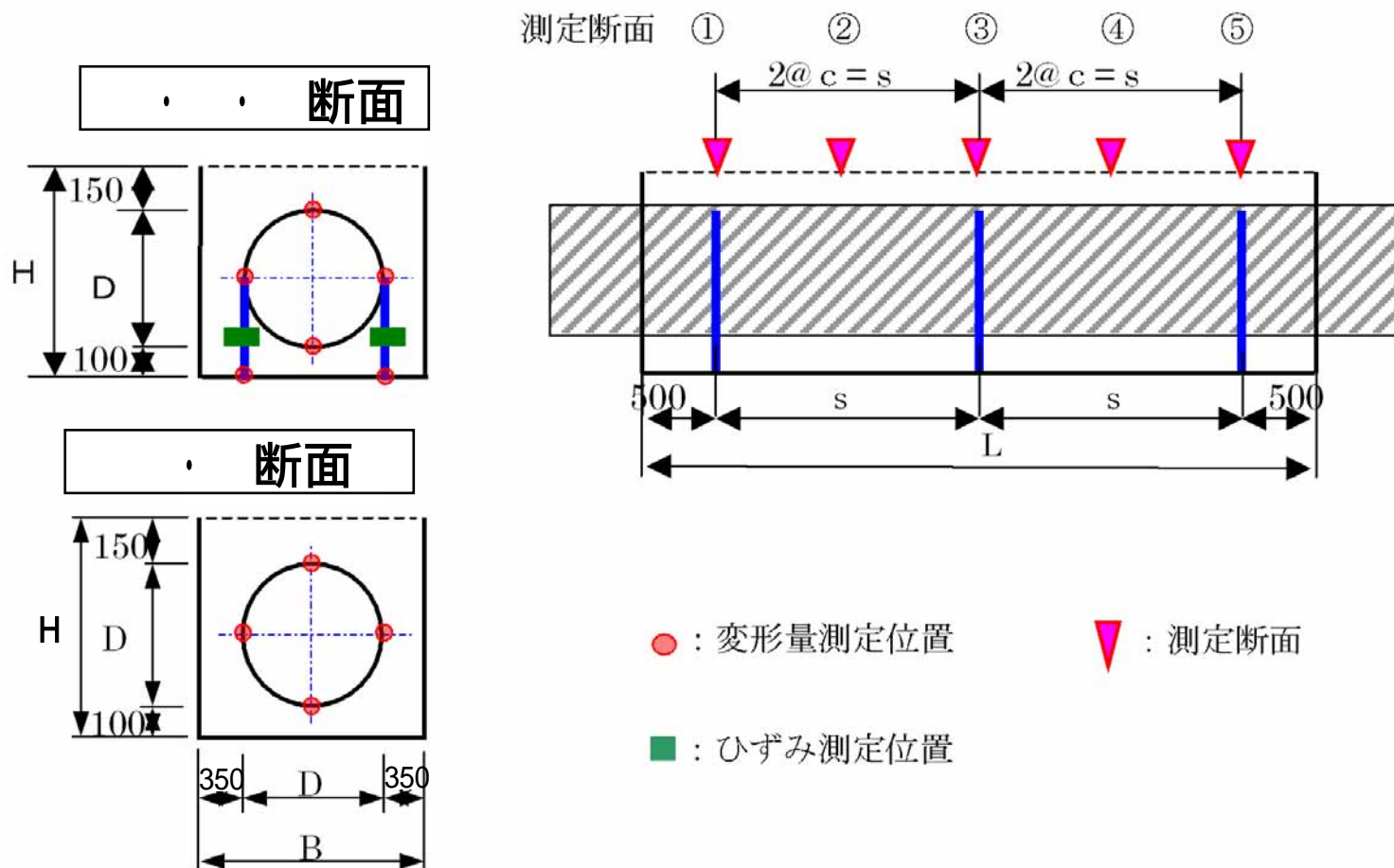
第1リフト：
第2リフト：

第1リフト：
第2リフト：
第3リフト：

第1リフト：
第2リフト：
第3リフト：

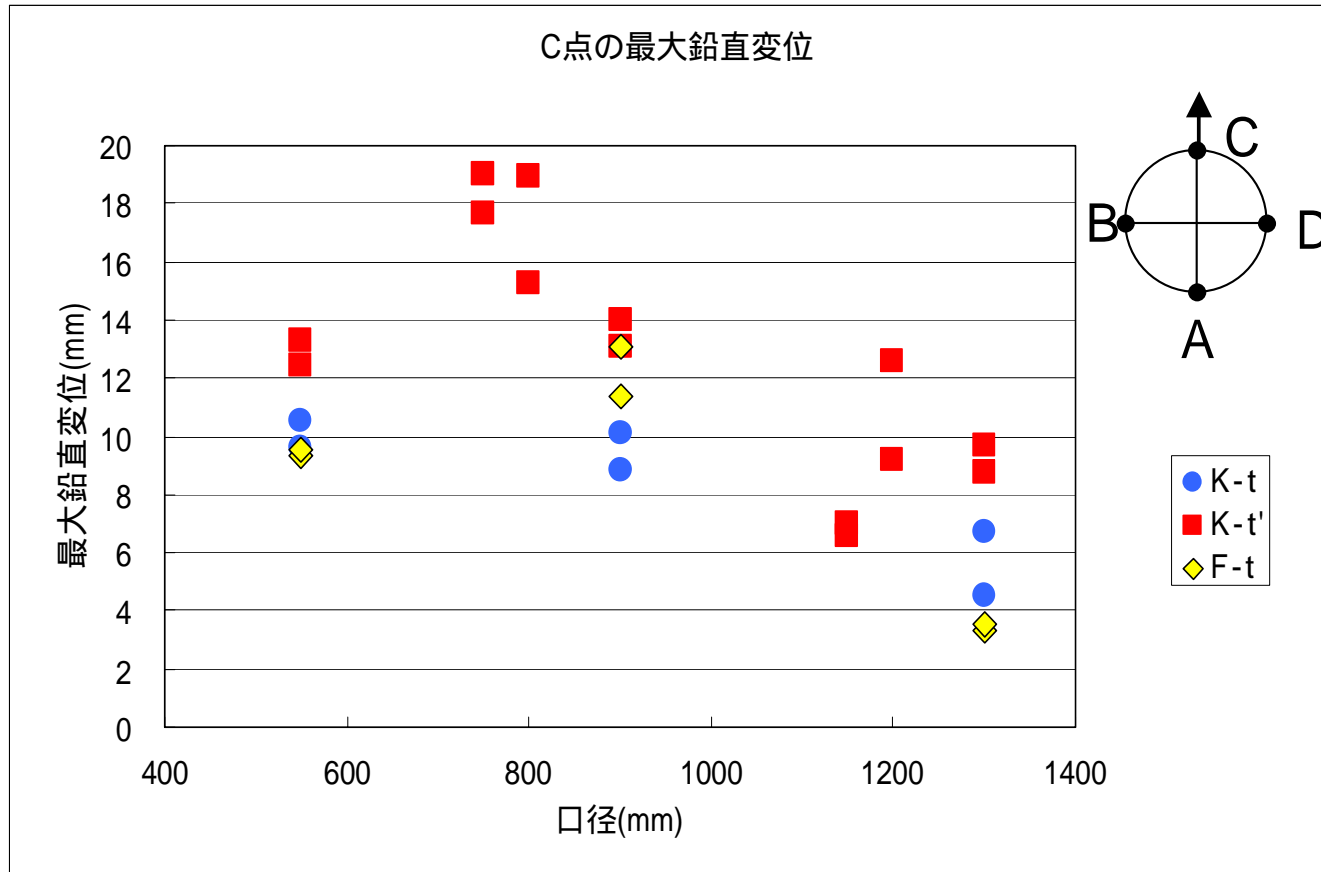
～ : 各供試体ごとのコンクリート打設順序

1-4. 変形等の計測位置



1-5. 打設試験結果

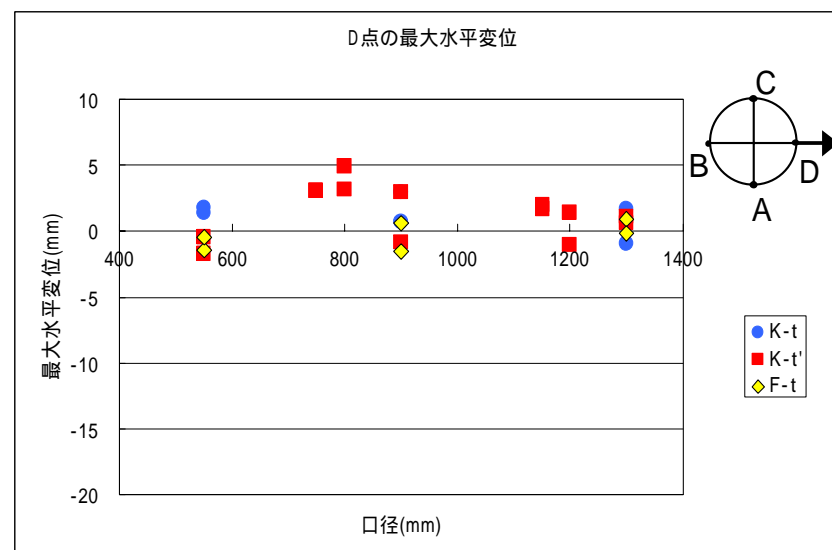
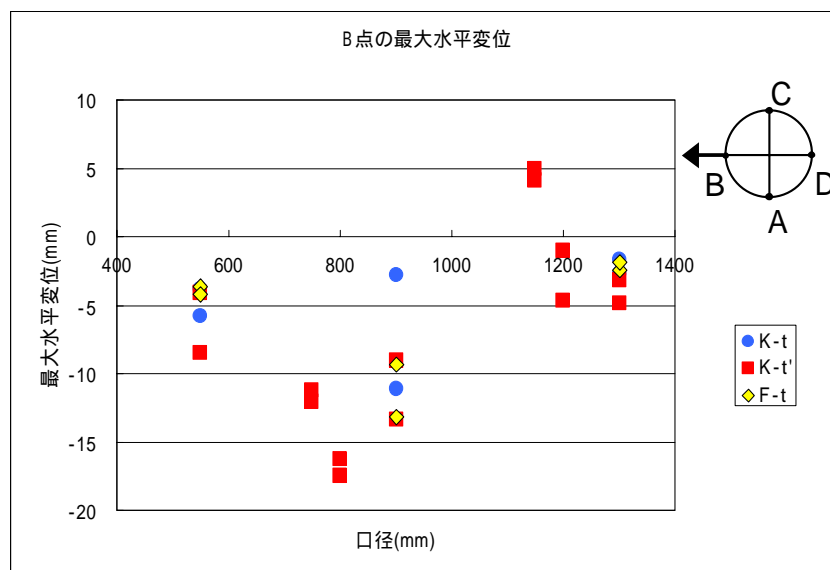
(1) C点の最大鉛直変位



- 注1) ● K-t : (株)栗本鉄工所製-カタログ記載の標準板厚のもの。
■ K-t' : (株)栗本鉄工所製-カタログ記載の標準板厚を下回る板厚のもの。
◇ F-t : フジモリ産業(株)製-カタログ記載の標準板厚のもの。

注2) 鉛直変位は、上方向を正とする。

(2) B点およびD点の最大水平変位

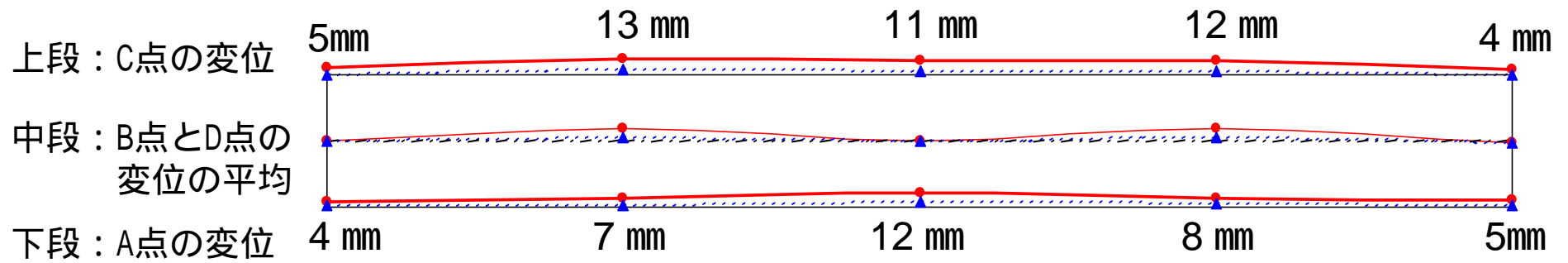


- 注1) ● K-t : (株)栗本鉄工所製-カタログ記載の標準板厚のもの。
 ■ K-t' : (株)栗本鉄工所製-カタログ記載の標準板厚を下回る板厚のもの。
 ◆ F-t : フジモリ産業(株)製-カタログ記載の標準板厚のもの。

注2) 水平変位は、円筒型わくが広がる方向を正とする。

1-6. 鉛直方向変形図

(株)栗本鐵工所製 / 口径550mm / 板厚0.5(0.1) mm



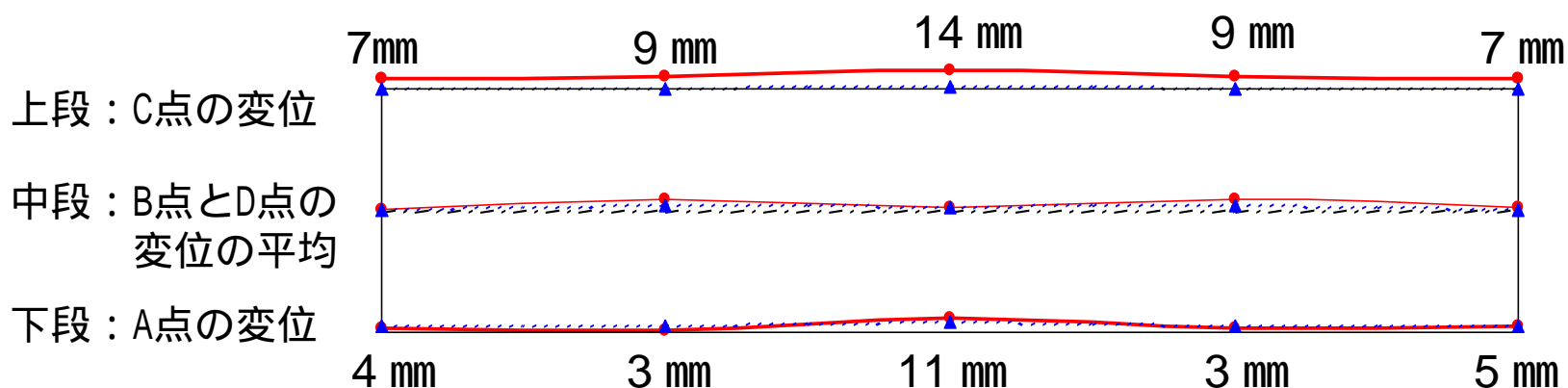
凡例

- (赤実線) : コンクリート打設完了時
- ▲— (青点線) : 円筒の半円高までの打設完了時
- - - (黒一点鎖線) : コンクリート打設前

注: 変形形状は5倍表示で各測点の変位を曲線で結んだもの。
 数値は、コンクリート打設完了時の変位量を示す。(上方を+)

鉛直方向変形図

(株)栗本鐵工所製/口径900mm/ 板厚0.8(0.2)mm



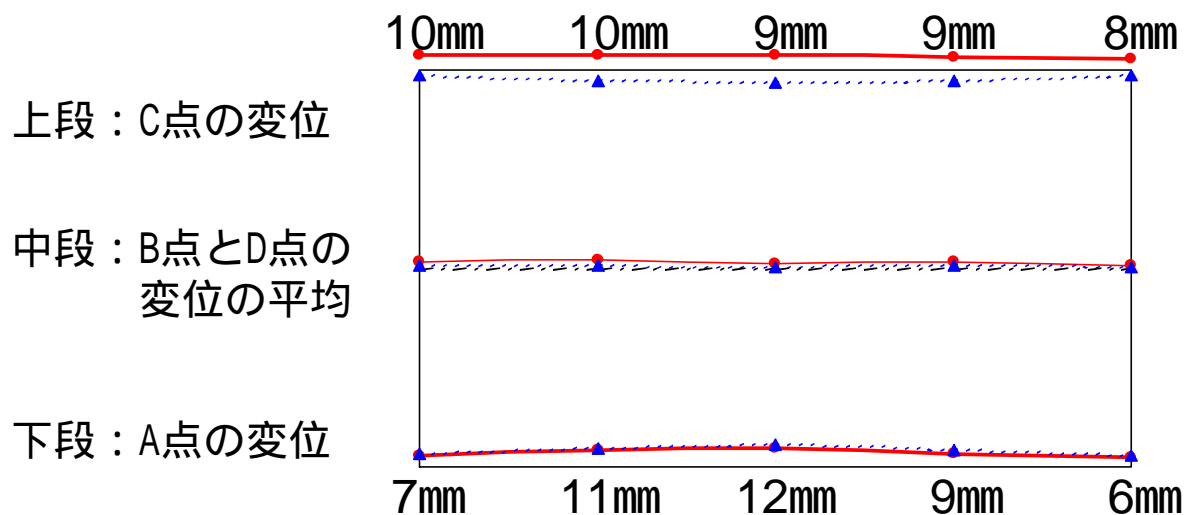
凡例

- (赤実線) : コンクリート打設完了時
- ▲— (青点線) : 円筒の半円高までの打設完了時
- (黒1点鎖線) : コンクリート打設前

注: 変形形状は5倍表示で各測点の変位を曲線で結んだもの。
 数値は、コンクリート打設完了時の変位量を示す。(上方を+)

鉛直方向変形図

(株)栗本鐵工所製/口径1300mm/ 板厚1.2(0.4) mm



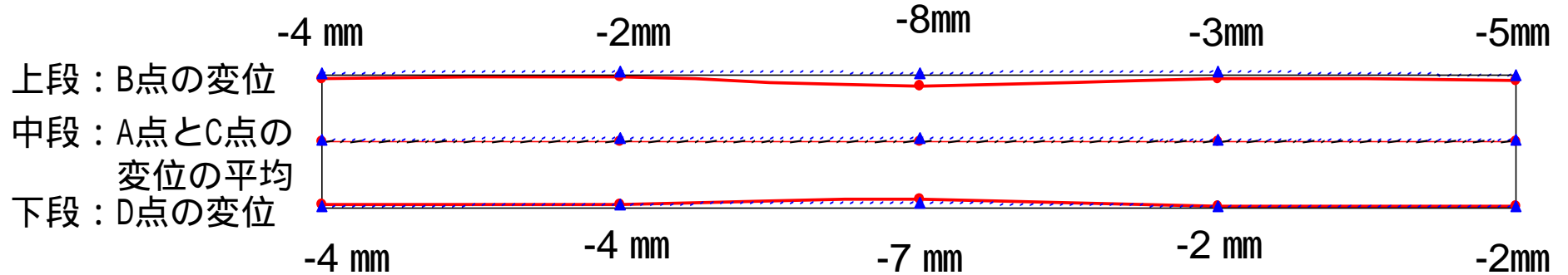
凡例

- (赤実線) : コンクリート打設完了時
- ▲ (青点線) : 円筒の半円高までの打設完了時
- ⋯ (黒1点鎖線) : コンクリート打設前

注：変形形状は5倍表示で各測点の変位を曲線で結んだもの。
数値は、コンクリート打設完了時の変位量を示す。(上方を+)

1-7. 水平方向変形図

(株)栗本鐵工所製/口径550mm/ 板厚0.5(0.1)mm



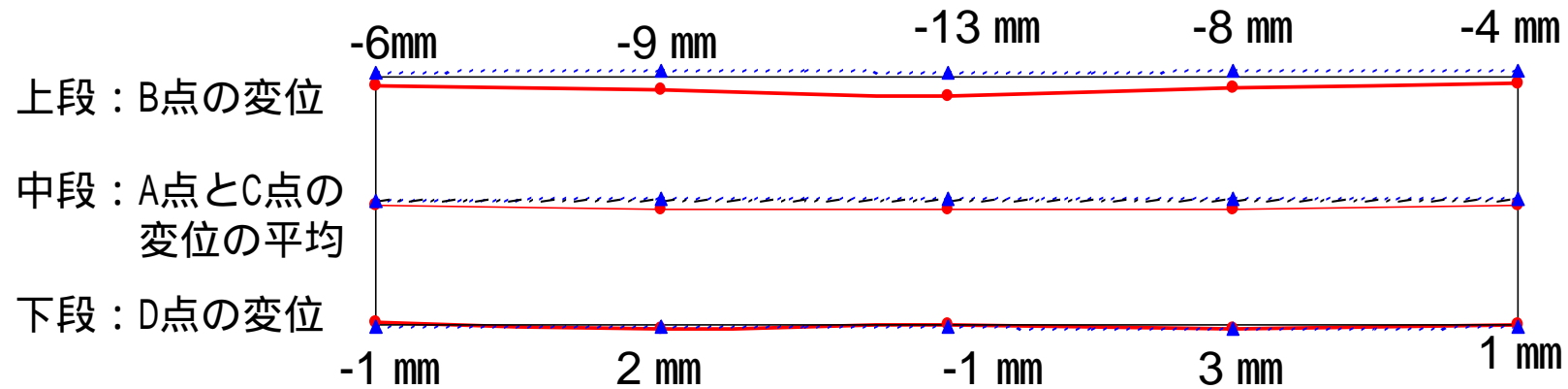
凡例

- (赤実線) : コンクリート打設完了時
- ▲— (青点線) : 円筒の半円高までの打設完了時
- · — (黒一点鎖線) : コンクリート打設前

注 : 変形形状は5倍表示で各測点の変位を曲線で結んだもの。
 数値は、コンクリート打設完了時の変位量を示す。(ひろがる方向を+)

水平方向変形図

(株)栗本鐵工所製/口径900mm/ 板厚0.8(0.2)mm



凡例

- (赤実線) : コンクリート打設完了時
- ▲ (青点線) : 円筒の半円高までの打設完了時
- ⋯ (黒一点鎖線) : コンクリート打設前

注：変形形状は5倍表示で各測点の変位を曲線で結んだもの。
数値は、コンクリート打設完了時の変位量を示す。(ひろがる方向を+)

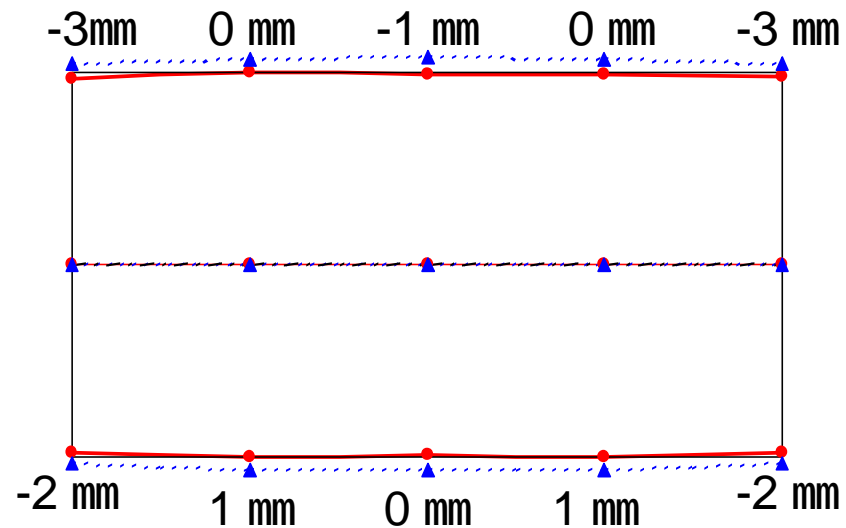
水平方向変形図

(株)栗本鐵工所製/口径1300mm/ 板厚1.2(0.4)mm

上段：B点の変位

中段：A点とC点の
変位の平均

下段：D点の変位



凡例

- (赤実線) : コンクリート打設完了時
- ▲ (青点線) : 円筒の半円高までの打設完了時
- ⋯ (黒一点鎖線) : コンクリート打設前

注：変形形状は5倍表示で各測点の変位を曲線で結んだもの。
数値は、コンクリート打設完了時の変位量を示す。(ひろがる方向を+)

1-8. コンクリート打設試験結果のまとめ

実物大の供試体を用いて実際の施工を再現したコンクリート打設試験を実施した結果、

- (1) 円筒型わく頂部の上方への変形量は平均8mm, 最大19mmであった。円筒型わく直上のコンクリート断面厚が最大19mm減少すると想定される。(750でカタログ記載の標準板厚を下回るケース)
- (2) 円筒型わくの側方部の外側への変形量は平均2mm, 最大5mmであった。円筒型わくの間コンクリート断面厚の減少は最大5 mmと想定される。(800でカタログ記載の標準板厚を下回るケース)
- (3) 各ケース2体の供試体について試験を実施したが、同一ケースでの変形量のばらつきは5 mm程度以下であった。
- (4) 同一口径について、円筒型わくの板厚が薄いことによる増加変形量は最大5 mmであった。

2. 実橋への影響検討

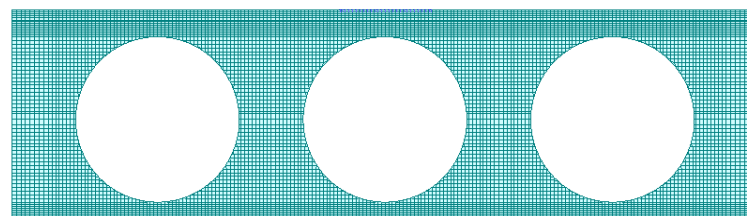
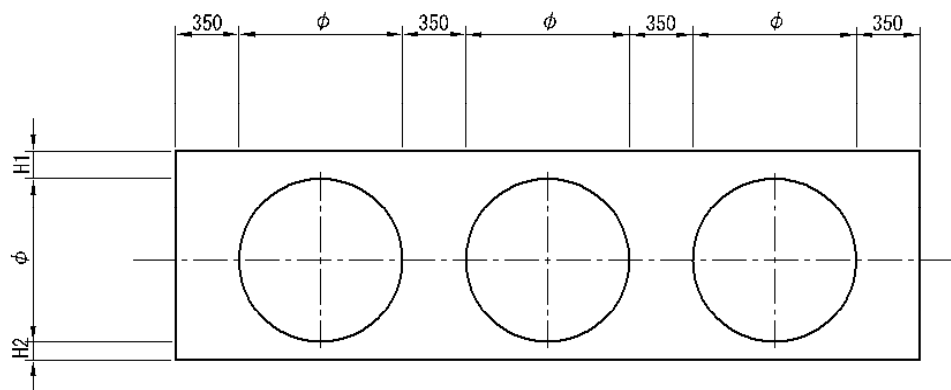
- 2-1. 円筒型わく上部の耐荷力検討
- 2-2. 中空床版橋としての耐荷力検討
- 2-3. 円筒型わくの変形に対する耐荷力への影響検討のまとめ
- 2-4. 円筒型わくの変形に対する長期的耐久性への影響検討
- 2-5. 円筒型わくの変形に対する長期的耐久性への影響検討のまとめ
- 2-6. まとめ

2-1. 円筒型わく上部の耐荷力検討

コンクリート打設試験結果から、円筒型わくの上方変形により、円筒型わく上部のコンクリート断面厚さが減少するため、自動車の輪荷重による影響について、2次元FEM解析により検討した。
なお、変形量は最大19mmであるが、20mmと仮定して解析した。

FEM解析モデル

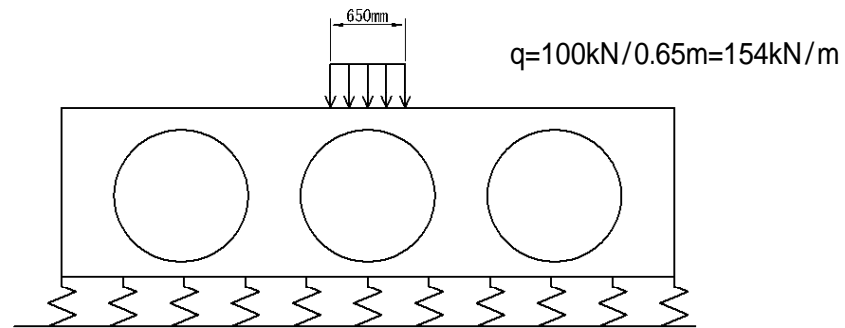
- ・円筒型わくの口径：550・900・1300mm
- ・モデルの有効厚：T荷重の分布幅



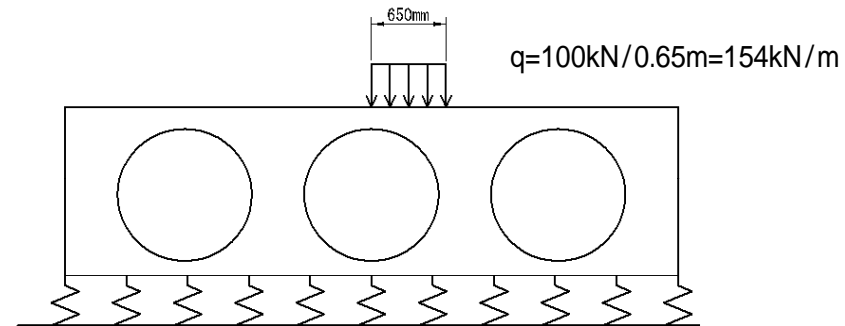
荷重条件および支持条件

載荷荷重: T荷重100kN 1台 (衝撃は考慮しない)

支持条件: 鉛直方向バネ支持



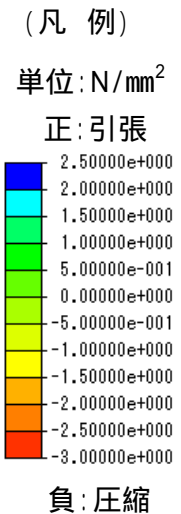
T1: モデル中央にT荷重を載荷した場合



T2: モデル中央にT荷重範囲の端部を合わせた場合

(1) 曲げ応力度の照査

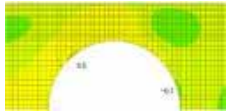
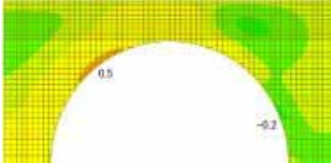
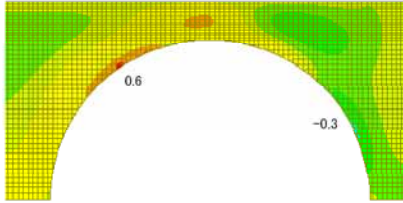
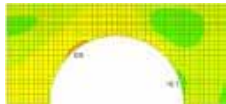
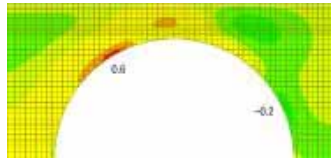
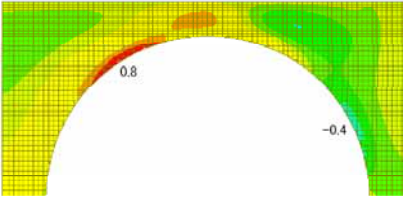
	550	900	1300
円筒型わく 直上断面厚 150mm			
最大引張応力度	0.8 N/mm ²	1.3 N/mm ²	1.8 N/mm ²
曲げひび割れ 発生限界応力度	1.9 N/mm ² (ck=24)	2.5 N/mm ² (ck=36)	2.5 N/mm ² (ck=36)
判定	< OK	< OK	< OK
円筒型わく 直上断面厚 130mm			
最大引張応力度	0.8 N/mm ²	1.4 N/mm ²	2.1 N/mm ²
曲げひび割れ 発生限界応力度	1.9 N/mm ² (ck=24)	2.5 N/mm ² (ck=36)	2.5 N/mm ² (ck=36)
判定	< OK	< OK	< OK

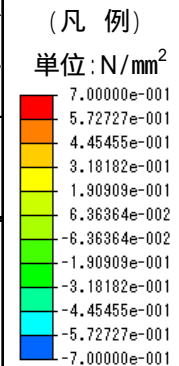


) 荷重状態: T2 (モデル中央にT荷重範囲の端部を合わせた場合)

いずれのケースも下縁側で引張応力が発生するものの、**曲げひび割れ発生限界応力度に対しては余裕があり、ひび割れは発生しない。**

(2) せん断応力度の照査

	550	900	1300
円筒型わく 直上断面厚 150mm			
最大せん断応力度	0.5 N/mm ²	0.5 N/mm ²	0.6 N/mm ²
許容せん断応力度	0.9 N/mm ² (ck=24)	1.05 N/mm ² (ck=36)	1.05 N/mm ² (ck=36)
判定	< OK	< OK	< OK
平均せん断応力度 比率	0.25 N/mm ² / = 0.28	0.30 N/mm ² / = 0.29	0.35 N/mm ² / = 0.33
円筒型わく 直上断面厚 130mm			
最大せん断応力度	0.6 N/mm ²	0.6 N/mm ²	0.8 N/mm ²
許容せん断応力度	0.9 N/mm ² (ck=24)	1.05 N/mm ² (ck=36)	1.05 N/mm ² (ck=36)
判定	< OK	< OK	< OK
平均せん断応力度 比率	0.3 N/mm ² / = 0.33	0.4 N/mm ² / = 0.38	0.4 N/mm ² / = 0.38

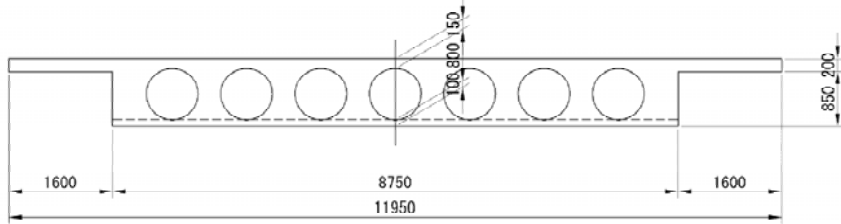
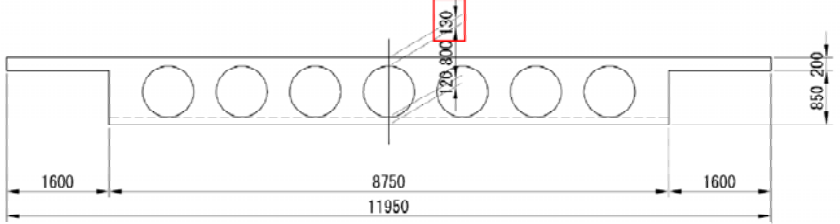


) 荷重状態:T2 (モデル中央にT荷重範囲の端部を合わせた場合)

いずれのケースも許容せん断応力度に対して余裕があり、せん断および
押抜きせん断に対して十分安全である。

2-2 . 中空床版橋としての耐荷力検討

(1) 曲げモーメントに対する検討

円筒型わく上方変形 0mm	円筒型わく上方変形 20mm
<p>1. 断面寸法</p>  <p>図の点線部は鉄筋位置である。(上縁より945mm) 鉄筋量 $A_s = 587.708 \text{ cm}^2$ (D32×74本 相当)</p> <p>2. 作用断面力 曲げモーメント $843.3 \text{ t}\cdot\text{m}$ (8273 $\text{kN}\cdot\text{m}$)</p> <p>3. 断面計算結果 $\sigma_c = 5.64 \text{ N/mm}^2 < 8.00 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$ $\sigma_s = 165.25 \text{ N/mm}^2 < 180.00 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$ </p>	<p>1. 断面寸法</p>  <p>図の点線部は鉄筋位置である。(上縁より945mm) 鉄筋量 $A_s = 587.708 \text{ cm}^2$ (D32×74本 相当)</p> <p>2. 作用断面力 曲げモーメント $843.3 \text{ t}\cdot\text{m}$ (8273 $\text{kN}\cdot\text{m}$)</p> <p>3. 断面計算結果 $\sigma_c = 5.72 \text{ N/mm}^2 < 8.00 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$ $\sigma_s = 165.03 \text{ N/mm}^2 < 180.00 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$ </p>

円筒型わくの上方変形を考慮しても、許容応力度に対して
余裕があり十分安全である。

中空床版橋としての耐荷力検討

(2) せん断力に対する検討

各ウェブが5mm薄くなったものと仮定

- ・ウェブ全厚：B=3150mm 3110mm (98.7%)
- ・有効高：d=945mm

(tf)

ウェブ厚	終局荷重 作用時 せん断力	コンクリート 負担分	スターラップ 負担分 (D13ctc125)	折り曲げ筋 負担分 (8-D32)	合計 (耐力)	
打設前 3150mm	586	116	400	295	811	OK
打設後 3110mm	586	114	400	295	809	OK

円筒型わくの側方変形によりウェブ厚が薄くなることを考慮しても、せん断耐力に対して余裕があり十分安全である。

2-3. 円筒型わくの変形に対する耐荷力への影響検討のまとめ

(1) 円筒型わく上部について

曲げ応力度

輪荷重による円筒型わく直上のコンクリート断面の曲げ応力度は、断面厚さの減厚前・後ともに下側で引張応力が発生し、断面厚さの減厚により、曲げ応力度がわずかに増加するものの、曲げひび割れ発生限界応力度以下であり、**ひび割れに対して安全である。**

せん断応力度

最大せん断応力度は、断面厚さの減厚によりわずかに増加するものの、断面厚さの減厚前・後ともに許容せん断応力度以下であり、**せん断および押抜きせん断に対して安全である。**

円筒型わくの変形に対する耐荷力への影響検討 のまとめ

(2) 中空床版橋について

曲げモーメントに対して

円筒型わくの上方変形を考慮しても、許容応力度に対して
余裕があり十分安全である。

せん断力に対して

円筒型わくの側方変形によりウェブ厚が薄くなることを考
慮しても、せん断耐力に対して余裕があり十分安全である。

2-4. 円筒型わくの変形に対する長期耐久性 への影響検討

コンクリートの中性化に関する調査事例

建設後約30年経過したRC中空床版橋の円筒型わく周辺のコンクリートの中性化深さを測定したところ、ほとんど中性化していなかった。



注(1) コンクリートの中性化が鉄筋位置まで達すると、鉄筋が腐食する恐れがある。

注(2) コンクリートの中性化試験:フェノールフタレイン水溶液を塗布して赤紫色を呈する部分は中性化していないと判断できる。

注(3) 写真の事例は、フェノールフタレイン水溶液を円筒型わく周辺のみに塗布している。

2-5. 円筒型わくの変形に対する長期耐久性 への影響検討のまとめ

円筒型わくの変形により、鉄筋のかぶりが部分的に減少するものの、円筒型わくはコンクリート中に埋設されており、その内空は外気の影響をほとんど受けないことから、コンクリート中空床版橋の長期耐久性への影響はないと考えられる。

2-6. まとめ

今回のコンクリート打設試験の結果をもとに耐荷力に関する検討を行った結果、円筒型わくの変形により耐荷力はわずかに減少するものの十分許容値の範囲内であり、構造物の安全性には影響がないことが確認できた。また、部分的な鉄筋のかぶりの減少が生じるものの、円筒型わく内空は外気の影響をほとんど受けないため、長期耐久性への影響はないと考えられる。

これらのことから、改ざんのあった円筒型わくの使用によるコンクリート中空床版橋の長期的な観点からの影響はないと考えられる。

3. FEM解析結果

3-1. 解析概要

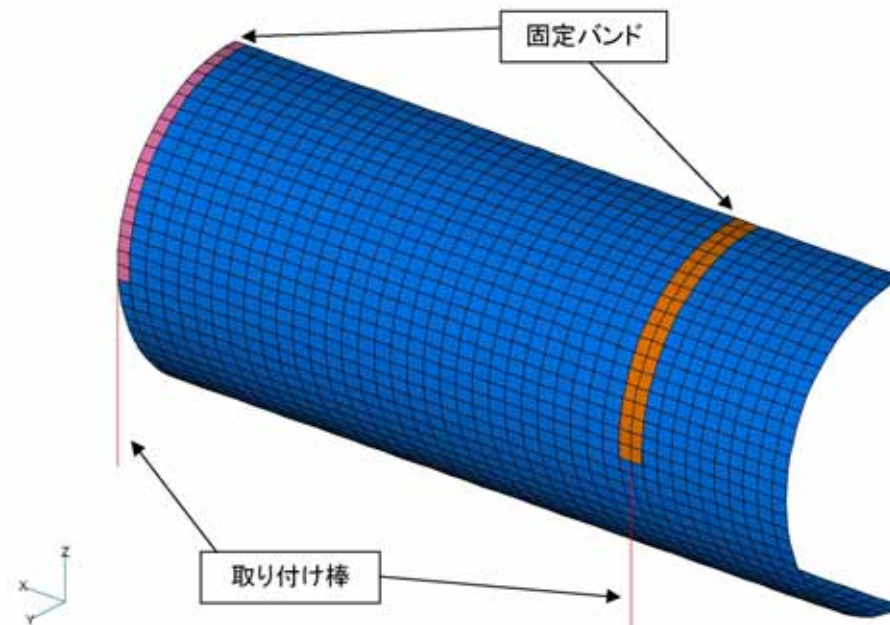
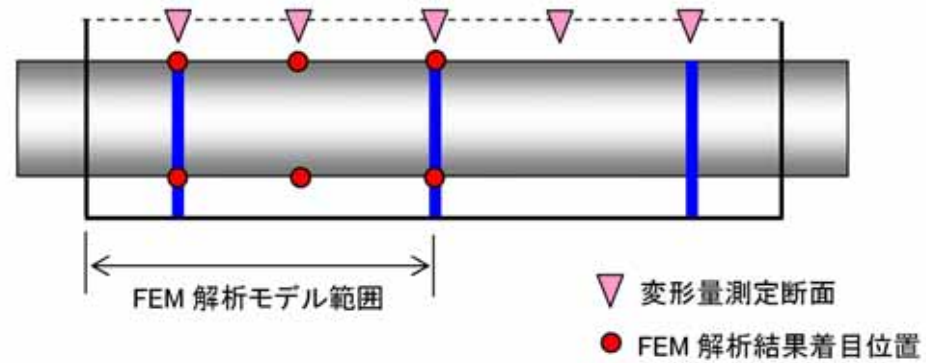
3-2. 解析結果総括

3-1. 解析概要

(1) 解析の目的

- ・ コンクリート打設試験を実施していないケースについて円筒型わくの変形量を算出する。
- ・ コンクリート打設試験における口径や板厚の違いによる変形量の変化について、解析的に確認する。

(2) 解析モデル



3-2 . 解析結果総括

円筒型わく頂部の上方への変形量

口径 (mm)	固定バンド間隔 L (mm)	横剛性	軸剛性		板厚 (mm)							
					t=0.5	t=0.6	t=0.7	t=0.8	t=1.0	t=1.2	t=1.6	
φ 500 (補間)	2,000	(300倍)	1/300倍	①実験	-							
				②解析	12.2							
				②/①	-							
φ 550	2,000	(300倍)	1/300倍	①実験	12.4	10.0						
				②解析	12.4	10.8						
				②/①	1.0	1.1						
φ 700 (補間)	2,000	(300倍)	1/900倍	①実験		-						
				②解析		18.2						
				②/①		-						
φ 750	2,000	(300倍)	1/900倍	①実験		17.8						
				②解析		18.6						
				②/①		1.0						
φ 800	2,000	(300倍)	1/900倍	①実験			15.9					
				②解析			16.7					
				②/①			1.1					
φ 850 (補間)	1,800	(300倍)	1/900倍	①実験				-				
				②解析				11.9				
				②/①				-				
φ 900	1,650	(300倍)	1/900倍	①実験				9.5	8.6			
				②解析				10.1	8.9			
				②/①				1.1	1.0			
φ 1100 (補間)	1,200	300倍	(1/300倍)	①実験					-			
				②解析					5.5			
				②/①					-			
φ 1150	1,150	300倍	(1/300倍)	①実験					6.5			
				②解析					6.9			
				②/①					1.1			
φ 1200	1,100	300倍	(1/300倍)	①実験					8.1			
				②解析					8.5			
				②/①					1.0			
φ 1250 (補間)	1,050	150倍	(1/150倍)	①実験						-		
				②解析						9.7		
				②/①						-		
φ 1300	1,000	150倍	(1/150倍)	①実験						8.8	5.3	
				②解析						11.8	5.0	
				②/①						1.3	0.9	

■ : カタログ
に記載されてい
る板厚

解析結果総括

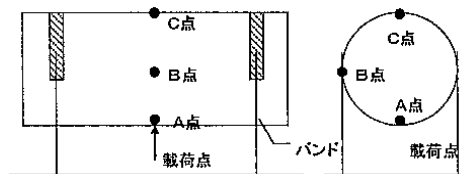
- 解析モデルの横剛性および軸剛性を変えることによりコンクリート打設試験結果の傾向を再現できることが確認できた。

4. 床版用円筒型わく試験(JHS401) について

- 4-1. 床版用円筒型わく試験(JHS401)結果
- 4-2. 床版用円筒型わく試験について

4-1. 床版用円筒型わく試験 (JHS401) 結果

口径	板厚	結果	供試体番号		たわみ (10 ⁻² mm)			たわみ (10 ⁻² mm)			たわみ (10 ⁻² mm)			
			測定位置		たわみ (10 ⁻² mm)			たわみ (10 ⁻² mm)			たわみ (10 ⁻² mm)			
					A	B	C	A	B	C	A	B	C	
550	0.6 正	OK	荷重:P	1,196 (N)	711	174	30	663	256	0	651	223	-19	
			許容たわみ (10 ⁻² mm)		718			718			718			
			判定		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
			許容荷重:1.5P	1,794 (N)	1,128	310	55	1,045	389	3	1,011	352	-14	
			判定		有害な変形は無し			有害な変形は無し			有害な変形は無し			
			破壊荷重 (N)		破壊せず			破壊せず			破壊せず			
		判定		OK			OK			OK				
750	0.7 正	NG	荷重:P	2,225 (N)	1,109	329	-199	1,237	425	-156	1,038	400	-222	
			許容たわみ (10 ⁻² mm)		1,000			1,000			1,000			
			判定		NG	OK	OK	NG	OK	OK	NG	OK	OK	
			許容荷重:1.5P	3,338 (N)	1,831	528	-324	2,004	680	-280	1,723	622	-352	
			判定		有害な変形は無し			有害な変形は無し			有害な変形は無し			
			破壊荷重 (N)		破壊せず			破壊せず			破壊せず			
		判定		NG			NG			NG				
900	1.0 正	NG	荷重:P	3,204 (N)	1,232	516	-374	1,201	580	-369	1,239	602	-387	
			許容たわみ (10 ⁻² mm)		1,000			1,000			1,000			
			判定		NG	OK	OK	NG	OK	OK	NG	OK	OK	
			許容荷重:1.5P	4,806 (N)	2,071	816	-608	2,081	940	-607	2,055	942	-626	
			判定		有害な変形は無し			有害な変形は無し			有害な変形は無し			
			破壊荷重 (N)		破壊せず			破壊せず			破壊せず			
		判定		NG			NG			NG				
1300	1.6 正	NG	荷重:P	6,684 (N)	1,180	457	-371	1,116	453	-381	1,134	506	-380	
			許容たわみ (10 ⁻² mm)		1,000			1,000			1,000			
			判定		NG	OK	OK	NG	OK	OK	NG	OK	OK	
			許容荷重:1.5P	10,026 (N)	1,902	662	-578	1,774	714	-584	1,836	512	-595	
			判定		有害な変形は無し			有害な変形は無し			有害な変形は無し			
			破壊荷重 (N)		破壊せず			破壊せず			破壊せず			
		判定		NG			NG			NG				



4-2. 床版用円筒型わく試験について

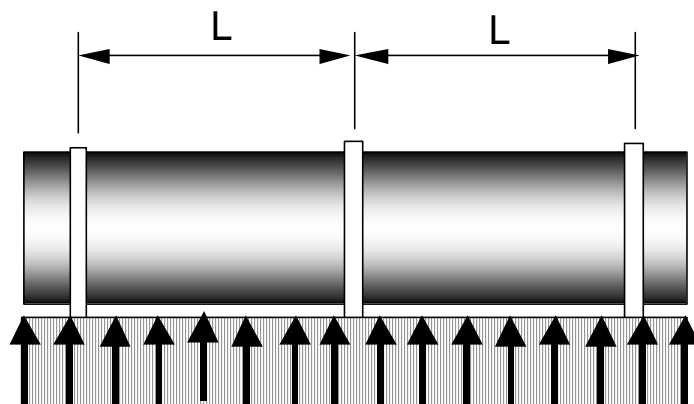
1. 円筒型わくの径が大きくなると、実施工における支持間隔と現行試験方法における支持間隔が異なることから、剛性確認試験における支持間隔について検討が必要である。
2. 円筒型わくの径が大きくなると、現行試験方法では局部的な変形が発生するため、剛性確認試験における載荷面の形状等について検討が必要である。

(参考)

床版用円筒型わく試験における支持間隔

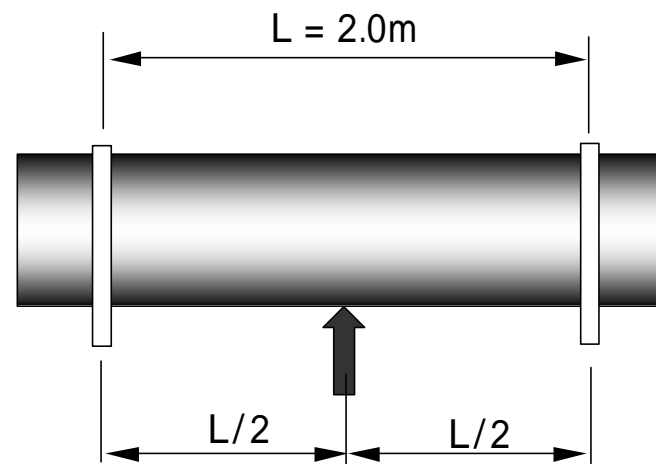
型わく径 D (mm)	支持間隔 L (m)	
	実施工	床版用円筒型わく試験
550	2.00	2.00
750		
800		
900	1.65	
1,150	1.15	
1,200	1.00	
1,300		

実施工



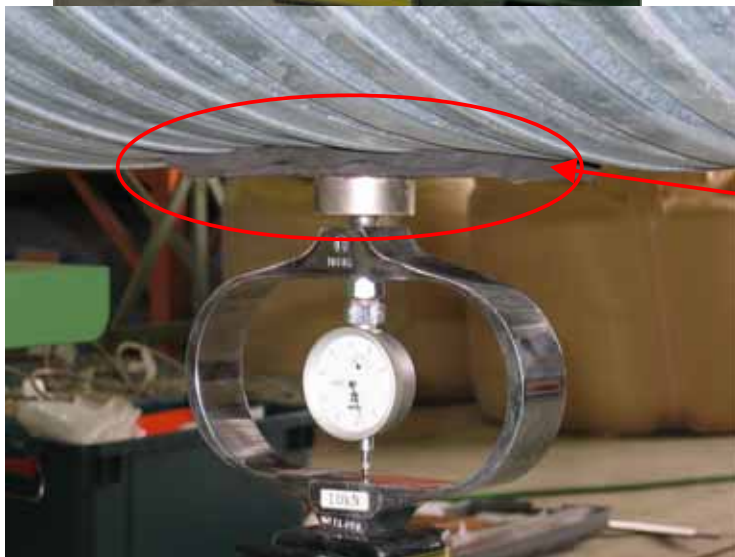
実施工は、現場において施工された一例を示す

床版用円筒型わく試験



(参考)

床版用円筒型わく試験における載荷面の形状



載荷部の局所変形