

## 論文 貫通孔を有するコンクリート要素の補強効果に関する実験的研究

山崎 和宏<sup>\*1</sup>・蔦壁 潤一郎<sup>\*2</sup>・白井 和貴<sup>\*3</sup>・田才 晃<sup>\*4</sup>

要旨：コンクリート梁に設けた貫通孔が梁の地震時構造性能に及ぼす影響や、各種補強を貫通孔周辺に施した際の補強効果を定量的に評価することを目的として、無筋コンクリート要素試験体を用いた割裂試験および圧縮試験を行った。貫通孔は円形とし、補強方法は施工性を考慮した簡便なものとした。割裂試験では各補強手法による引張抵抗力の増加やひび割れの抑制効果を、圧縮試験では圧縮抵抗力の向上効果をそれぞれ検討した。

キーワード：貫通孔，補強，要素試験，割裂試験，圧縮試験

## 1. はじめに

建築物のリニューアル工事において、既存梁に貫通孔を新設することが要求される場合がある。このとき、貫通孔の新設による梁の構造性能低下を補うため、何らかの補強が必要となる。しかし、既存梁の新設貫通孔を補強した際の梁の構造性能については研究が少なく、不明な点が多い。

本研究では、貫通孔がコンクリート梁の構造性能に及ぼす影響や、貫通孔周辺を各種手法により補強した際の補強効果を定量的に評価するための基礎資料を得ることを目的として、無筋コンクリート試験体を用いて貫通孔周辺を模擬した要素試験を行った。

実験は、割裂試験および圧縮試験の2種類を実施し、貫通孔径や補強方法の違いを実験パラメータとした。割裂試験では各種補強による引張抵抗力の増加やひび割れの抑制効果を、圧縮試験では圧縮抵抗力の向上効果をそれぞれ検討することを意図している。補強方法は、実際のリニューアル工事において施工性が良く、補強効果も高いと思われる数種の補強手法を採用した。

## 2. 実験概要

## 2.1 割裂試験

## (1) 割裂試験体

割裂試験に用いる試験体（以下Tシリーズ）は、外径 $D_T$  300 mm×高さ $H_T$  180 mmの無筋コンクリート円柱であり、貫通孔は円形とし試験体中央に設けた。

## (2) 実験パラメータ

Tシリーズの補強方法を図-1に、パラメータ一覧を表-1に示す。貫通孔直径は試験体の外径 $D_T$ （=300 mm）を基準とし、貫通孔の有無と貫通孔直径をパラメータとした無補強試験体を5体、貫通孔直径を99.1mm（約 $1/3 D_T$ ）とし、補強を行った試験体を14体製作した。補強には主として鋼材とエポキシ樹脂系接着剤を使用した。補強方法は以下の4種類を採用し、各手法で鋼管の肉厚、およびツバの外径を変動させた。

「鋼管補強」：貫通孔に鋼管を挿入し、鋼管とコンクリート間の空隙をエポキシ樹脂で充填接着する方法。

「ツバ付き鋼管補強」：上記の鋼管補強に加え、鋼管の両端外周に鋼板のツバをはめ込み鋼管と溶接して一体化する方法。ツバとコンクリートの間はエポキシ樹脂で充填接着するものとし、2種類とした。

「鋼板補強」：コンクリート試験体の両側面に鋼製のツバをエポキシ樹脂で接着する方法。

\*1 横浜国立大学 工学部 建設学科（正会員）

\*2 横浜国立大学大学院 工学府 社会空間システム学専攻（正会員）

\*3（株）大林組 技術研究所（正会員）

\*4 横浜国立大学大学院 システムの創生部門 人の空間のシステム分野 助教授（正会員）

「鋼板補強 + アンカーボルト」: 上記の鋼板補強に加え、さらに樹脂系のあと施工アンカーを打設して鋼板を固定する方法。

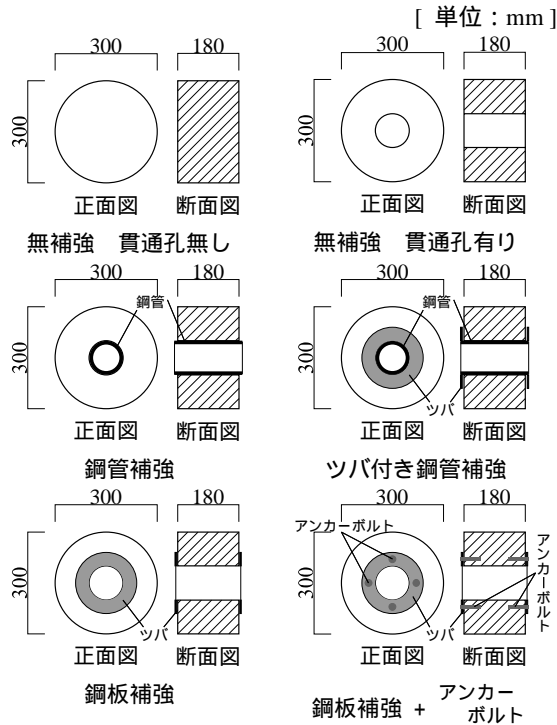


図-1 Tシリーズ補強方法

表-1 Tシリーズパラメーター一覧

試験体名	貫通孔直径(mm)	補強タイプ	t	D <sub>S</sub>	備考	
T-01	貫通孔無し	無補強	-	-		
T-02			-	-		
T-03			50.6 (約1/6D <sub>T</sub> )	-	-	
T-04			-	-	-	
T-05	99.1 (約1/3D <sub>T</sub> )	鋼管補強	-	-		
T-06			2.8	-		
T-07			6.0	-		
T-08		9.0	-			
T-09		2.8	ツバ付き鋼管補強	-	180	1
T-10		6.0		-		
T-11		2.8		-		
T-12		6.0	-		2	
T-13	-	鋼板補強	-	180		
T-14	-		-	210		
T-15	-		-	240		
T-16	-		-	-		
T-17	-	鋼板補強 + アンカーボルト	-	180		
T-18	-		-	-		
T-19	-		4	-	240	3

t : 鋼管肉厚(mm) 鋼管長さは203mm (共通) 外径は89.1mm (共通)

D<sub>S</sub> : 鋼板ツバの外径(mm) 鋼板ツバの肉厚は2.3mm (共通)

1 ツバとコンクリート 非接着 2 ツバとコンクリート 接着

3 T-17の45度加力

4 樹脂系アンカーM10片面4本 穿孔深さ60mmを両面に施工

### (3) 試験方法

割裂試験は JIS A1113-1999「コンクリートの割裂引張強度試験方法」<sup>1)</sup>に準じて行い、加力には 2000kN アムスラー型万能試験機を用い、試験体

の直径方向に単調一軸載荷とした。荷重は試験機内蔵のロードセルにより、鉛直変位を載荷板間の縮み量を変位計により測定した。

## 2.2 圧縮試験

### (1) 圧縮試験体

圧縮試験に用いる試験体(以下Cシリーズ)は、断面 200mm × 200mm の正方形で、高さ H<sub>C</sub>400mm の無筋コンクリート角柱であり、貫通孔は円形として試験体中央に設けた。

### (2) 実験パラメータ

Cシリーズの補強方法を図-2に、パラメーター一覧を表-2に示す。貫通孔直径は試験体底辺長さ D<sub>C</sub>(=200mm)を基準し、貫通孔の有無、貫通孔直径をパラメータとした無補強の試験体6体を製作した。貫通孔直径を 66.5mm (約 1/3D<sub>C</sub>) および 99.1mm (約 1/2D<sub>C</sub>) の2種とし、補強を行った試験体を9体製作した。補強には Tシリーズと同様の材料を用い、補強方法は以下の2種類を採用した。各手法ともツバの直径は孔径の約2倍とし、鋼管の肉厚を変動させた。

「鋼管補強」: Tシリーズの鋼管補強と同様に、貫通孔に鋼管を挿入し、鋼管とコンクリート間の空隙をエポキシ樹脂で充填接着する方法。

「ツバ付き鋼管補強」: 上記の鋼管補強に加え、鋼管の両端外周に鋼板のツバをはめ込み鋼管と溶接して一体化する方法。Cシリーズではツバとコンクリートの間は非接着の1種類のみとした。

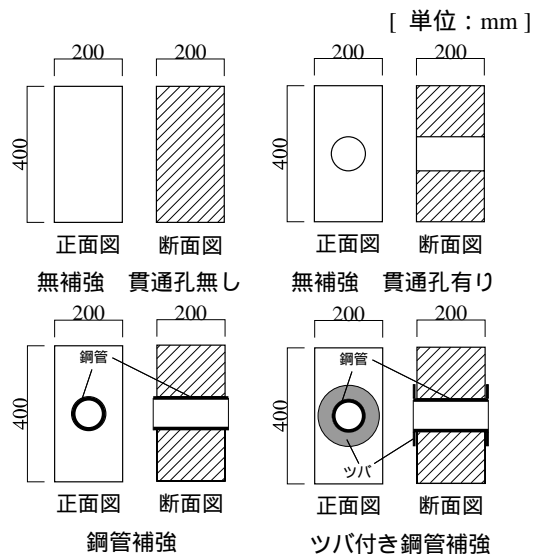


図-2 Cシリーズ補強方法

表-2 Cシリーズパラメーター一覧

試験体名	貫通孔直径(mm)	補強タイプ	t	D <sub>s</sub>	備考
C-01	貫通孔無し	無補強	-	-	
C-02			-	-	
C-03			-	-	
C-04	40.0 (約1/5D <sub>C</sub> )		-	-	
C-05	66.5 (約1/3D <sub>C</sub> )		-	-	
C-06	99.1 (約1/2D <sub>C</sub> )		-	-	
C-07	66.5 (約1/3D <sub>C</sub> )	鋼管補強	2.3	-	
C-08			5.0	-	
C-09			8.0	-	
C-10		2.3	ツバ付き鋼管補強	120	1
C-11	5.0				
C-12	99.1 (約1/2D <sub>C</sub> )	鋼管補強	2.9	-	
C-13			6.0	-	
C-14		ツバ付き鋼管補強	2.9	180	1
C-15			6.0		

t: 鋼管肉厚(mm) 鋼管長さは223mm (共通) 外径は60.5mmまたは89.1mm

D<sub>s</sub>: ツバの外径(mm) 鋼板ツバの肉厚は2.3mm (共通)

1 ツバとコンクリート 非接着

### (3) 試験方法

圧縮試験は JIS A1108-1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」<sup>2)</sup>に準じて行い、試験機および測定方法は T シリーズと同様であり、加力は試験体長辺方向の単調一軸載荷とした。

### 2.3 材料特性

使用材料 T , C 両シリーズとも共通である。使用したコンクリート、補強に用いた鋼板 (SS400)、鋼管 (STKM13A)、およびエポキシ樹脂系接着剤の各材料特性を表-3~表-5に示す。

表-3 コンクリートの材料特性 (テストピース)

コンクリート種類	計画値		試験値	
	目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材最大寸法 (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
普通	24.0	20	29.9	2.62

表-4 補強鋼材の材料特性 (試験値)

	厚さ (mm)	外径 (mm)	ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏歪 (%)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破断歪 (%)
鋼板	2.3		195000	289	0.154	341	65.0
鋼管	2.3	60.5	148000	407		459	51.7
鋼管	2.8	89.1	203000	414		452	75.3
鋼管	5.0	60.5	201000	340		479	58.8
鋼管	6.0	89.1	226000	380		533	58.8
鋼管	8.0	60.5	211000	279		445	44.5
鋼管	9.0	89.1	206500	296		438	43.0

\*ヤング率は試験値より比例限度内での勾配により算出した。

表-5 接着剤の材料特性 (規格値)

	圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	引張せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )	接着強さ (N/mm <sup>2</sup> )
エポキシ樹脂	80	40	15	6

### 3. 実験結果

得られた測定データの荷重 - 鉛直変位関係は、図-3の様に不安定な初期剛性を示すことがあり、そのままでは剛性や最大荷重時変位の比較が困難であった。そこで T シリーズ、C シリーズの全試験体に対して鉛直変位の補正を行った。補正は、最大荷重の 1/3 荷重点と 1/9 荷重点の割線剛性を初期剛性とみなし、その初期剛性を 1/9 荷重点から延長して荷重 0 と交わる点が補正後の原点となるように変位を修正した(図-4)。以降、鉛直変位および歪は補正後の値を示す。

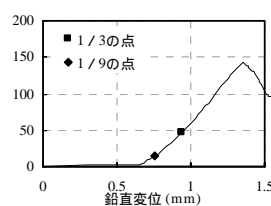


図-3 補正前

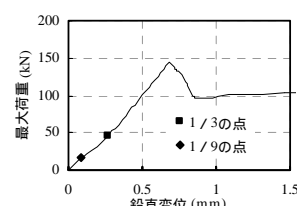


図-4 補正後

### 3.1 割裂試験

T シリーズの実験結果一覧を表-6、荷重 - 鉛直変位関係を図-5に示す。無補強試験体 T-01 ~ T-05 を比較すると、貫通孔直径が大きいほど最大荷重 P<sub>max</sub>、および最大荷重時鉛直変位 P<sub>max</sub> がともに低下した。補強試験体について比較すると、鋼管補強 T-06 ~ T-08 では鋼管の肉厚が大きいほど、鋼板補強 T-13 ~ T-16 では鋼板の外径が大きいほど P<sub>max</sub> および P<sub>max</sub> が増加した。ツバ付き鋼管補強 T-12 と鋼板補強 T-16 については貫通孔無しと同等以上の P<sub>max</sub> まで達した。

### 3.2 圧縮試験

C シリーズの実験結果一覧を表-7、荷重 - 鉛直歪関係を図-6に示す。無補強試験体 C-01 ~ C-06 を比較すると、貫通孔直径が大きいほど初期剛性および P<sub>max</sub> が低下した。補強試験体 C-07 ~ C-15 を比較する、鋼管補強、ツバ付き鋼管補強ともに鋼管の肉厚が大きいほど P<sub>max</sub> が増加した。鋼管補強 C-08, C-09 については、貫通孔無しと同等以上の P<sub>max</sub> まで達した。C シリーズの全試験体とも、最大荷重時鉛直歪 P<sub>max</sub> は概ね同じであった。

表-6 Tシリーズ実験結果一覧

	T-01	T-02	T-03	T-04	T-05	T-06	T-07	T-08	T-09	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15	T-16	T-17	T-18	T-19
$P_{max}$ (kN)	173	193	129	61	61	110	139	155	115	144	168	195	117	113	141	176	110	113	163
$\frac{P_{max}}{P_0}$	0.94	1.06	0.70	0.33	0.33	0.60	0.76	0.85	0.63	0.79	0.92	1.07	0.64	0.62	0.77	0.96	0.60	0.62	0.89
$P_{max}$ (mm)	0.73	0.80	0.59	0.41	0.38	0.65	0.69	0.83	0.65	0.68	0.82	0.87	0.73	0.64	0.84	0.89	0.59	0.73	0.74

$P_{max}$ : 最大荷重  $P_0$ : 無補強貫通孔無し (T-01, T-02) の  $P_{max}$  の平均  $P_{max}$ : 最大荷重時の鉛直変位

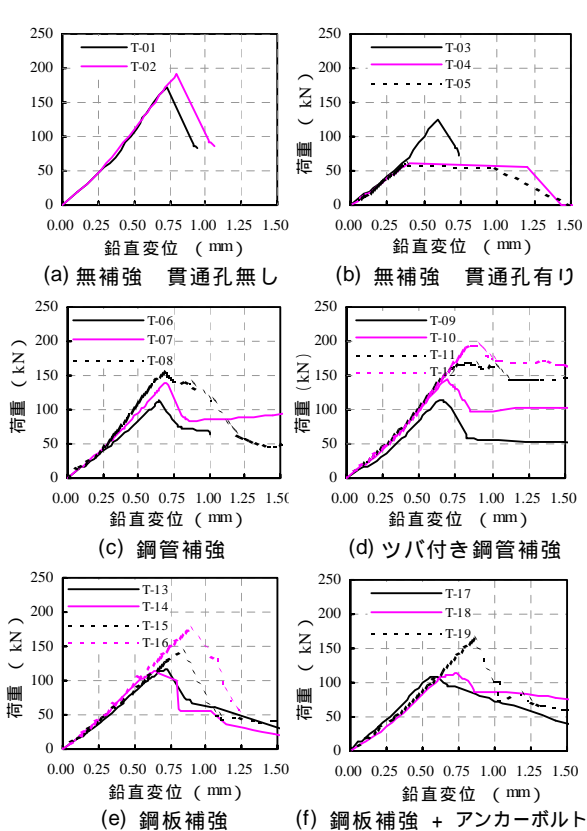


図-5 Tシリーズ荷重 - 鉛直変位関係

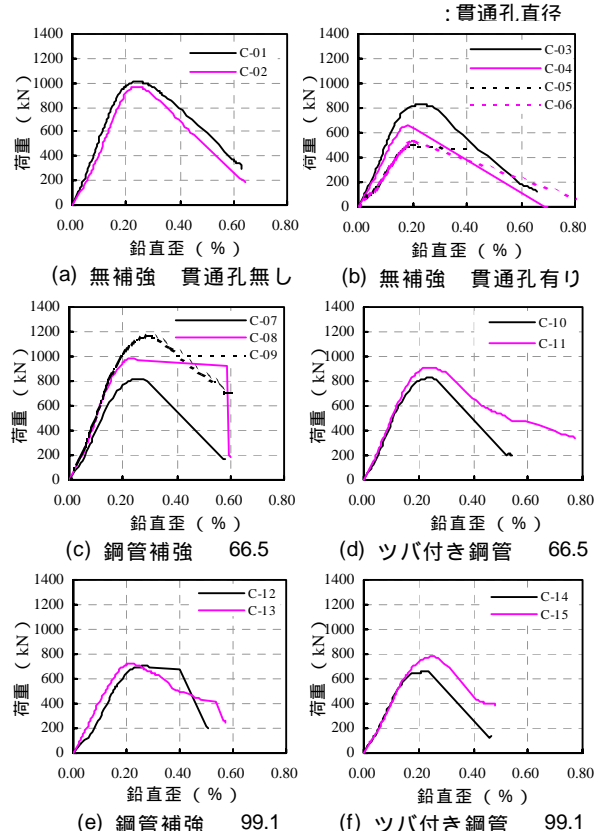


図-6 Cシリーズ荷重 - 鉛直歪関係

表-7 Cシリーズ実験結果一覧

	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07	C-08	C-09	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15
$P_{max}$ (kN)	1012	970	827	657	509	541	820	986	1163	829	913	702	729	664	780
$\frac{P_{max}}{P_0}$	1.02	0.98	0.83	0.66	0.51	0.55	0.83	1.00	1.17	0.84	0.92	0.71	0.74	0.67	0.79
$P_{max}$ (%)	0.22	0.23	0.27	0.18	0.20	0.20	0.26	0.23	0.29	0.24	0.24	0.27	0.23	0.23	0.26

$P_{max}$ : 最大荷重  $P_0$ : 無補強貫通孔無し(C-01, C-02)の  $P_{max}$  の平均  $P_{max}$ : 最大荷重時の鉛直歪

#### 4. 検討

##### 4.1 割裂試験

補強手法および補強パラメータによる最大荷重の変化を図-7に示す。また, (a), (b), (c)には最小2乗法により求めた近似線を示す。

##### (1) 貫通孔直径の影響 (図-7 (a))

$P_{max}$  は貫通孔の直径に対して貫通孔直径が大きくなるにつれて直線的に小さくなっている。

##### (2) 鋼管補強の鋼管肉厚の影響 (図-7 (b))

$P_{max}$  は鋼管肉厚の増加とともに増加する。

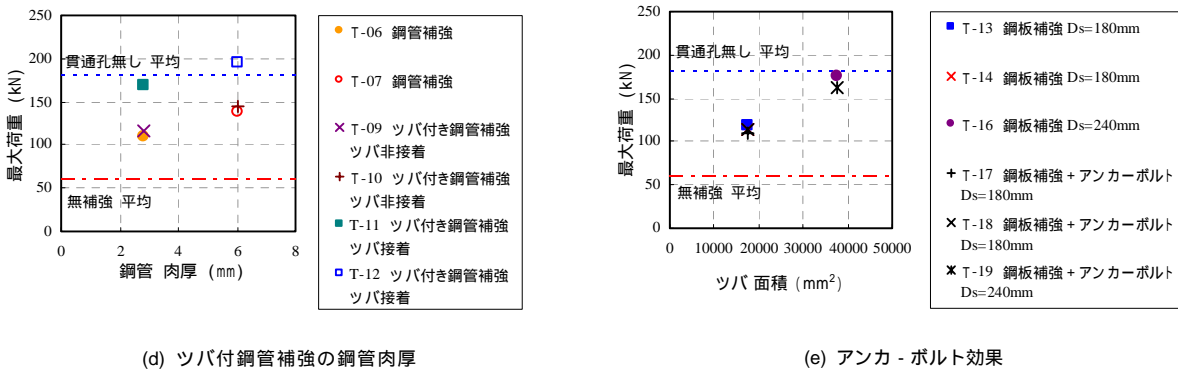
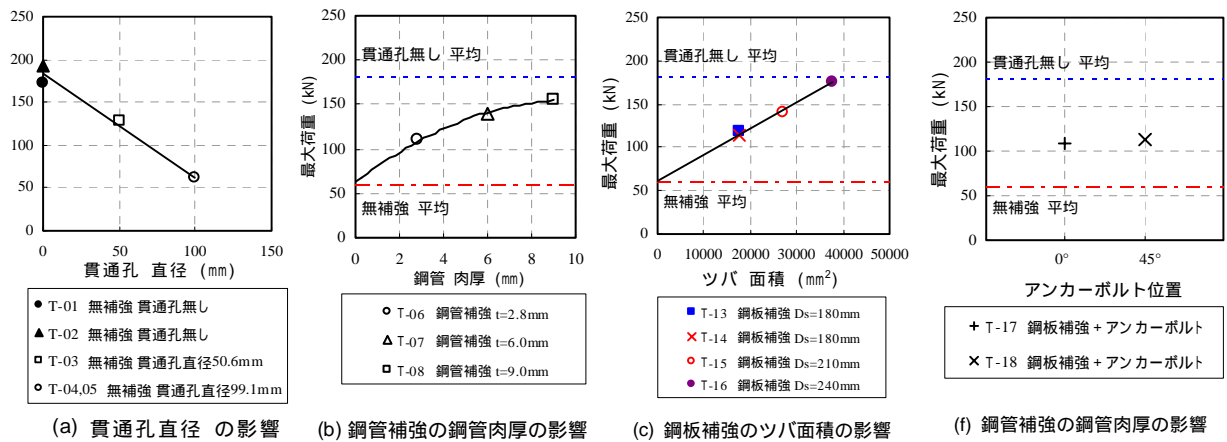
(3) ツバ接着面積の影響 (図-7(c), (d))

(c)より,鋼板補強では,鋼板の接着面積が大きくなると  $P_{max}$  はほぼ直線的に増加し,その近似線は接着面積が0となる点で無補強の  $P_{max}$  の平均と概ね一致する。(d)より,ツバ付き鋼管補強では,ツバとコンクリートを接着しない場合には  $P_{max}$  の増加はほとんど見られないが,ツバをコンクリートと接着した場合には  $P_{max}$  は大きく増加している。そこで,ツバの接着によって得られる

$P_{max}$  の増加量に着目し,鋼管肉厚  $t=2.8\text{mm}$  と  $t=6.0\text{mm}$  の場合について比較したものを図-8に示す。ツバの接着による  $P_{max}$  の増加分は,鋼板補強の無補強に対する  $P_{max}$  の増加分とほぼ等しい結果となった。

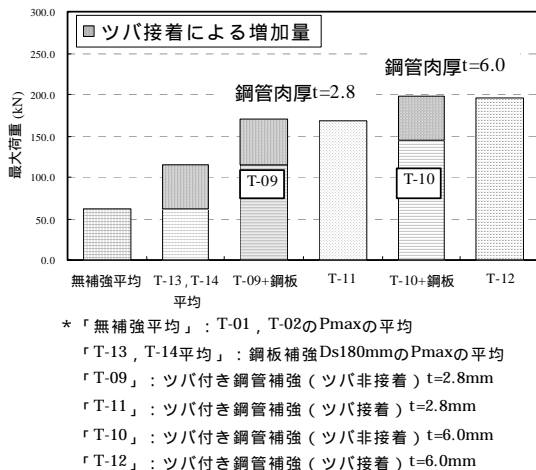
(4) アンカーボルトの影響 (図-7(e), (f))

(e)より,アンカーボルトで鋼板を固定したことによる  $P_{max}$  の増加はみられない。また(f)より,加力軸とボルト位置の関係を変えても  $P_{max}$  の変



\* 「貫通孔無し平均」: T-01, T-02の  $P_{max}$  の平均 「無補強平均」: T-04, T-05の  $P_{max}$  の平均

図-7 Tシリーズの補強効果の検討



化はほとんどみられない。

4.2 圧縮試験

Cシリーズ全試験体についての最大荷重の検討を図-9に示す。また,(a),(b)には最小2乗法により求めた近似線を併せて示す。

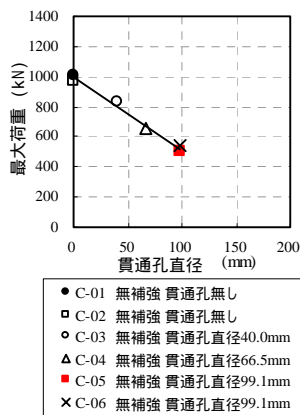
(1) 貫通孔直径の影響 (図-9(a))

無補強時の  $P_{max}$  は貫通孔の直径が大きくなるに従ってほぼ直線的に低下している。

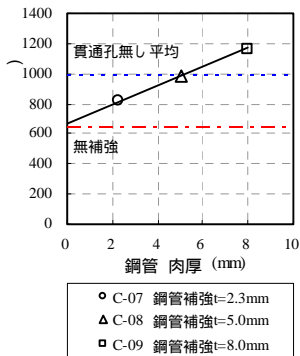
(2) 鋼管補強の効果 (図-9(b), (c))

貫通孔直径が  $66.5\text{mm}$  (約  $1/3D_c$ ) の場合には鋼管の肉厚に対しほぼ直線的に  $P_{max}$  が増加して

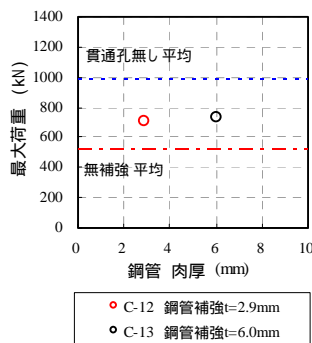
いるのに対し、89.1mm (約 1/2D<sub>C</sub>) の場合には鋼管の肉厚を大きくしても P<sub>max</sub> の増加はほとんどみられない。



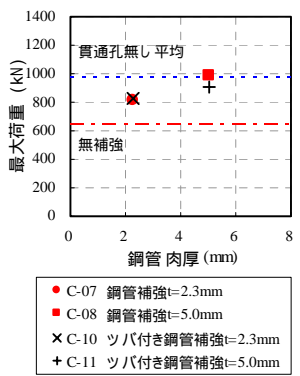
(a) 貫通孔直径の影響



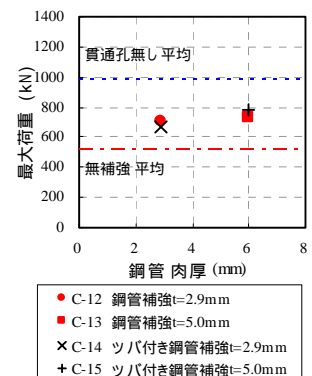
(b) 鋼管補強の効果  
貫通孔直径66.5mm



(c) 鋼管補強の効果  
貫通孔直径99.1mm



(d) ツバ付き補強の効果  
貫通孔直径66.5mm



(e) ツバ付き補強効果  
貫通孔直径99.1mm

\* 「貫通孔無し平均」: C-01, C-02 の P<sub>max</sub> の平均  
「無補強」: C-04 の P<sub>max</sub>  
「無補強平均」: C-05, C-06 の P<sub>max</sub> の平均  
t: 鋼管肉厚

図-9 Cシリーズの補強効果の検討

## 5. まとめ

貫通孔を設けた無筋コンクリート要素試験体に各種補強を施し、割裂試験および圧縮試験を行

った結果、以下の知見を得た。

- (1) 無補強の場合、割裂試験・圧縮試験ともに、貫通孔の直径が大きくなるに従い最大荷重がほぼ直線的に低下した。
- (2) 貫通孔の内側に鋼管を挿入してエポキシ樹脂を充填接着した補強手法の場合、コンクリートの圧縮および引張りに対して補強効果がみられた。貫通孔直径が99.1mmの圧縮試験を除き、圧縮試験・割裂試験ともに、鋼管の肉厚が大きくなるに従い最大荷重が増加した。
- (3) 貫通孔の周囲に鋼板をエポキシ樹脂で接着した補強手法の場合、コンクリートの引張りに対して補強効果が認められた。割裂試験では、鋼板の接着面積が大きくなるに従い最大荷重がほぼ直線的に増加した。
- (4) ツバ付き鋼管による補強時には、ツバとコンクリート間の接着の有無により異なる性状を示した。ツバとコンクリートを接着しない場合、割裂試験・圧縮試験ともに、鋼管のみによる補強と比べて顕著な補強効果はみられなかった。一方、ツバとコンクリートを接着した割裂試験では、鋼管のみによる補強時と比べて最大荷重が増加し、その増加分は鋼板接着のみによる補強時の最大荷重増加分とほぼ等しくなった。

これらは、梁の補強設計において、各補強方法によるせん断耐力の向上効果を評価する上での一助になるものと期待できる。

[謝辞] 実験全般を通して(株)大林組技術研究所・勝俣英雄氏、横浜国立大学文部技官・畠中雄一氏、同大学生・安岡威氏には多大な協力を得ました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本工業規格:コンクリートの割裂引張強度試験方法, JIS A1113-1999
- 2) 日本工業規格:コンクリートの圧縮強度試験方法, JIS A1108-1999