

E-Defense を用いた橋梁耐震実験研究

C1-2 実験 (橋梁コンポーネント実験: 1970年代に建設されたRC橋脚実験)

1. 研究目的(全体)

橋梁耐震実験研究の種類とタイプを分類すると、それぞれ、表-1、表-2 のようになります。  
また、研究目的ごとにこれを達成するための実験種類を分類すると、表-3 のようになります。

表-1 実験目的とそのねらい

実験目的	目的、ねらい
現象解明	従来、実験装置の制約から十分な検討が出来なかった破壊現象や複雑な地震応答の解明を図る。
耐震性能検証	現在の耐震補強法や耐震設計法によって補強・新設された橋梁の耐震性・耐震余裕度を検証する。
新技術開発	耐震性の向上技術を開発する。

表-2 実験の種類

実験種類	内容
コンポーネント実験 (C1 実験)	世界最大のRC橋脚模型を用いた震動台実験から、橋脚の破壊特性や耐震性能を明らかにする。
システム実験 (C2 実験)	桁、橋脚、支承、ジョイント、落橋防止構造等、橋梁全体系モデルを用いて橋梁の複雑な地震応答や破壊特性を明らかにする。

表-3 実験目的と実験種類の関係

実験のタイプ	現象解明	耐震性能検証	新技術開発
コンポーネント実験 (C1 実験)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●兵庫県南部地震で被災した橋脚の破壊メカニズム解明</li> <li>●寸法効果の解明</li> <li>●3方向加震の影響、載荷速度の解明</li> <li>●実験方法の明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●耐震補強法の検証</li> <li>●現在の設計法の検証・耐震余裕度の検討</li> </ul>	
システム実験 (C2 実験)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●桁、橋脚、支承、ジョイント、落橋防止構造からなる全体系の逐次破壊メカニズム解明</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>●ダンパーの活用技術</li> <li>●高性能橋脚、落橋防止構造、高性能支承の開発</li> </ul>

2. 実験実施予定

表-4 C1、C2 実験 全体ケース (現在案)

年度	試験体	試験橋脚の特性
2007	C1-1	1970年代に建設されたRC橋脚 (基部曲げ破壊タイプ、段落し無し)
2008	C1-2	1970年代に建設されたRC橋脚 (主鉄筋段落し部せん断破壊タイプ)
	C1-5	現在建設されているRC橋脚の耐震性能の検証
2009	C1-3	1970年代に建設されたRC橋脚を鋼板巻き立て工法で耐震補強
	C1-4	1970年代に建設されたRC橋脚をカーボンファイバー巻き立て工法で耐震補強
	C1-6	現在建設されているRC橋脚の耐震余裕度の検証
	C1-7	米国の設計基準に従ったRC橋脚
2010	C2	橋梁システム実験

\*本日の実験はC1-2 実験です。

3. C1-2 実験装置

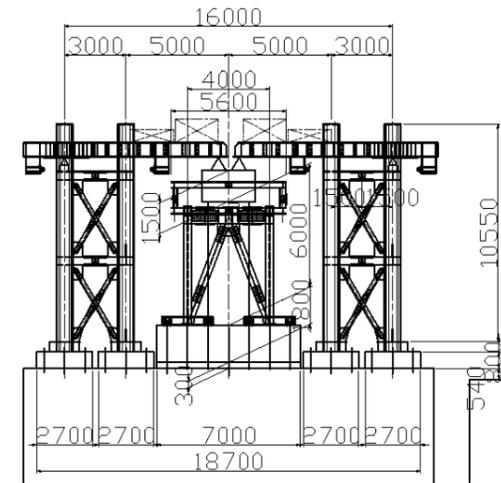


図-1 実験装置

4. C1-2 試験体設計: 1970年代に建設された軸方向鉄筋に段落しを有するRC橋脚

(1) 設計概要

兵庫県南部地震において被害の著しかった1970年代に建設された橋脚を想定して、柱部の軸方向鉄筋に段落しを有する試験橋脚を設計製作した。柱基部の軸圧縮応力は  $1.14\text{N/mm}^2$  とした。コンクリートの強度は  $\sigma_{ck}=27\text{N/mm}^2$  とし、鉄筋にはSD345を用いた。

(2) 試験体橋脚の柱断面

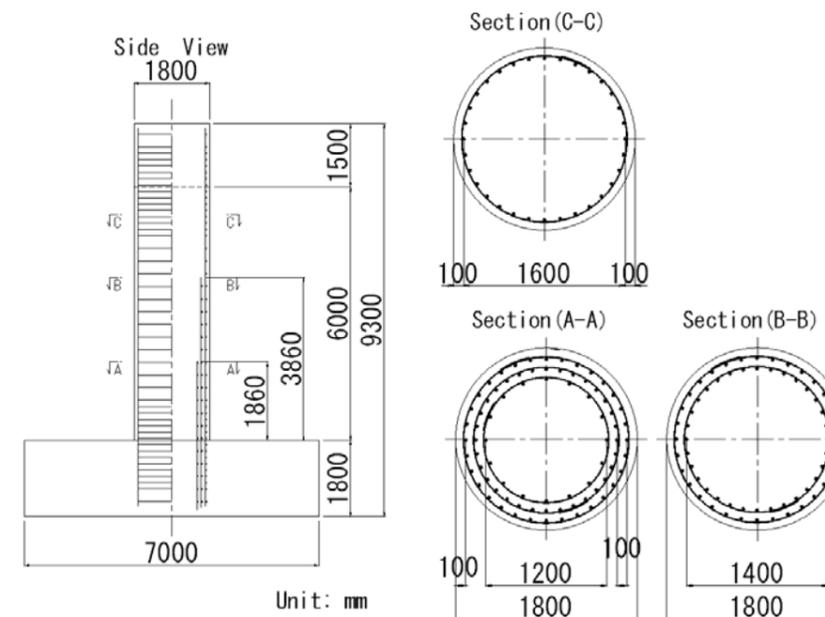


図-2 RC橋脚 一般図

柱 径:  $D=1.8\text{m}$

軸方向鉄筋: 基部: D29-2.5段 (軸方向鉄筋比  $\rho=2.02\%$ )、中間: D29-2.0段 ( $\rho=1.62\%$ )  
 頭部: D29-1.0段 ( $\rho=0.81\%$ ) \*1段当たりの鉄筋:  $A_s=6.424 \times 32=205.6\text{cm}^2$

帯鉄筋：D13-150ctc

柱基部及び梁付け根部：D13-150ctc（横拘束鉄筋比  $\rho_s=0.422\%$ ）

柱中間部：D13-300ctc（横拘束鉄筋比  $\rho_s=0.106\%$ ）

(3) 設計基準：1964年鋼道路橋設計・製作示方書解説

1968年道路橋下部構造設計指針（橋台・橋脚の設計編）

1972年道路橋耐震設計指針・同解説

(4) 地盤種別：Ⅱ種地盤を想定

(5) 使用材料：（コンクリート） $\sigma_{ck}=27\text{ N/mm}^2$

（鉄筋）SD345（ $\sigma_{sy}=345\text{ N/mm}^2$ ）

(6) 上部構造死荷重反力及び橋脚が支持する上部構造重量

○死荷重反力： $R_d=2110\text{ kN}$  (215 ton)

○橋脚が支持する上部構造重量：（橋軸方向：Lg） $W_U=3010\text{ kN}$  (307 ton)

（橋軸直角方向：Tr） $W_U=2110\text{ kN}$  (215 ton)

○橋脚基部での軸圧縮応力度： $\sigma_c=1.14\text{ Mpa}$

(7) 橋脚の固有周期

○コンクリート全断面有効として曲げ剛性EIで計算した場合（基礎の変形無視）

橋軸方向： $T=0.40\text{ (sec)}$ 、橋軸直角方向： $T=0.43\text{ (sec)}$

(8) 設計震度：（水平震度）橋軸方向  $k_h=0.23$ 、橋軸直角方向  $k_h=0.23$

（鉛直震度） $k_v=\pm 0.11$

(9) C1-2 橋脚試験体の橋軸方向の破壊形態及び曲げ損傷箇所判定結果

表-5 曲げ耐力及びせん断耐力の計算方法

曲げ耐力及びせん断耐力の計算方法	材料強度	曲げ耐力を算出する際の断面変化位置	コンクリートが負担するせん断応力度 $\tau_c$
計算方法 A	設計強度 コンクリート： $\sigma_{ck}=27\text{ MPa}$ 鉄筋：(SD345) $\sigma_{sy}=345\text{ MPa}$	鉄筋が止まっている位置から、道示の定着長 $l_a(29.4\phi)$ を下げた位置	平均式を用いて計算
計算方法 B	推定強度（材料の過強度を考慮） コンクリート： $\sigma_{ck}=27\times 1.1=30\text{ MPa}$ 鉄筋：(SD345) $\sigma_{sy}=345\times 1.1=380\text{ MPa}$	鉄筋が止まっている位置から、土木学会の横方向鉄筋で補強されている場合の鉄筋の定着長 $l_0$ (約 $20\phi$ ) を下げた位置	同上

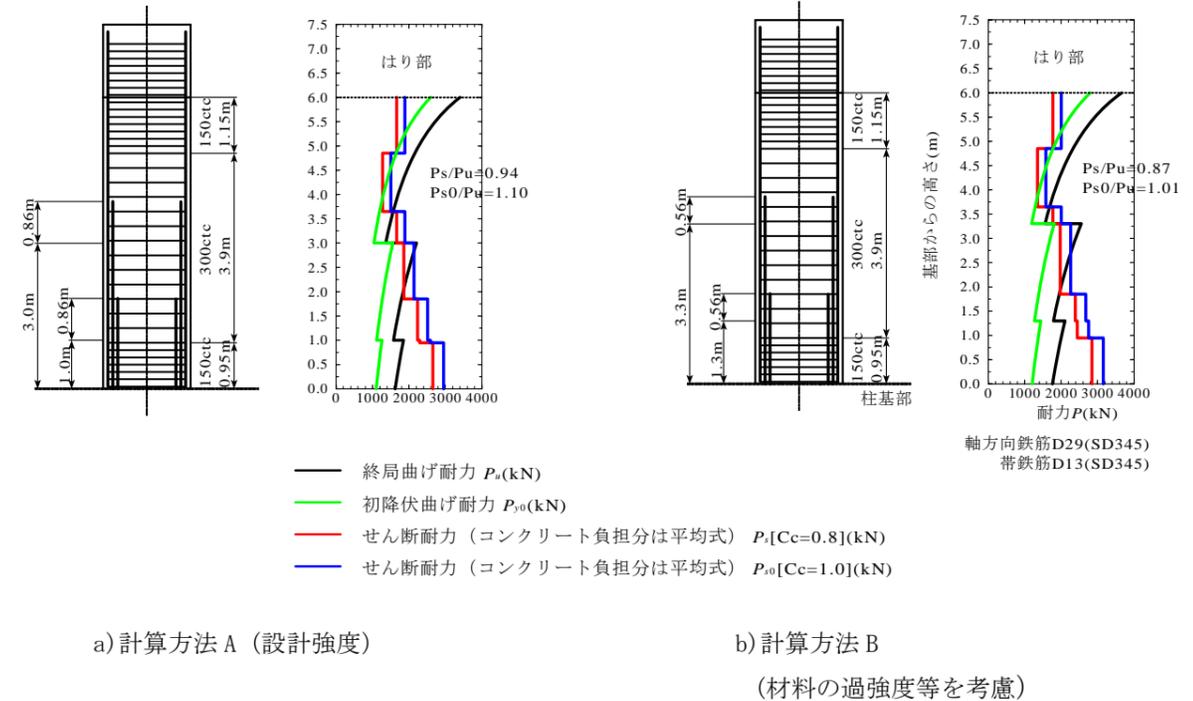


図-3 破壊形態及び曲げ損傷箇所判定結果

(10) 入力地震動

兵庫県南部地震の際に JR 鷹取駅で観測された地震動記録に動的相互作用効果を考慮して修正した地震動を入力する。

表-6 実験装置の重量（概算値）

項目	構造物の色	重量	内訳
RC 橋脚試験体	白	310 t	フーチング：220 t、柱部：90 t
上部構造	桁：赤 ウエイト：グレー 支承：白	307 t	桁： $22.7\times 2=45.4\text{ t}$ ウエイト 1： $78.0\times 2=156.0\text{ t}$ ウエイト 2： $44.6\times 2=89.2\text{ t}$ 支承：16.2 t
中央架台	青	37 t	
端部架台鋼製柱部	緑	100 t	2 基分
端部架台 RC 架台	白	120 t	$15\text{ t/基}\times 8=120\text{ t}$
防護架台	グレー	120 t	（設計図面による概算値）
フーチング下床版	白	36 t	
合計		1030 t	

注) 上部構造は計測値、他は設計重量

表-7 橋梁コンポーネント実験試験橋脚比較

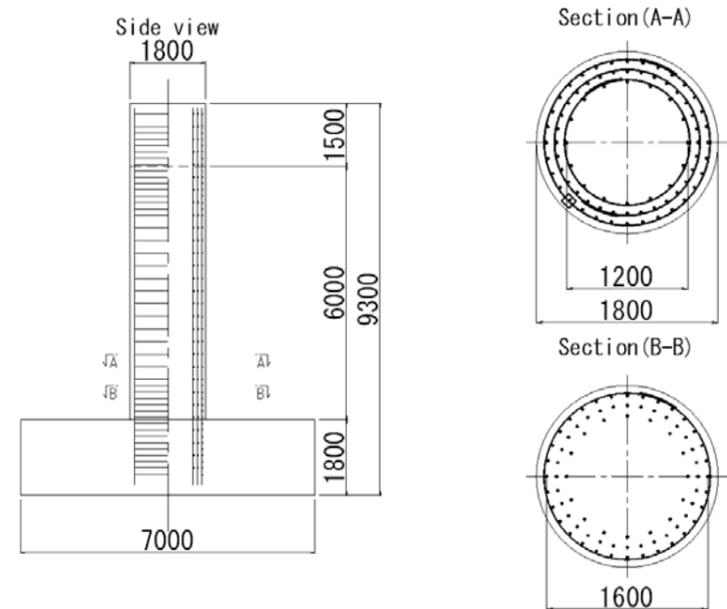
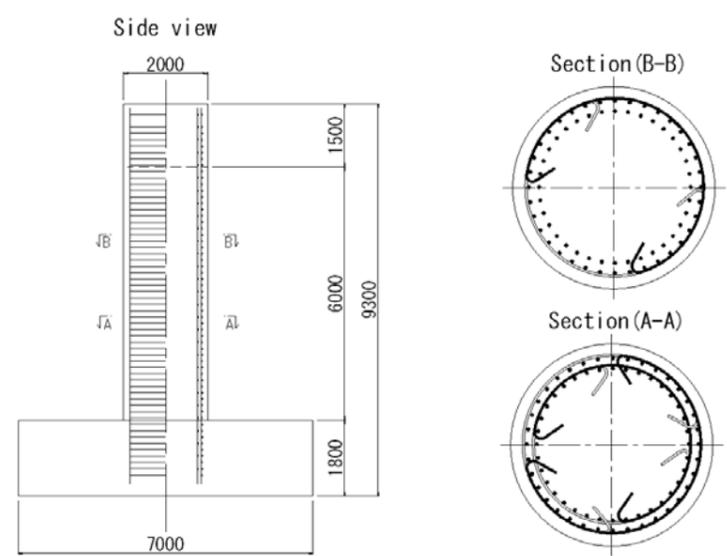
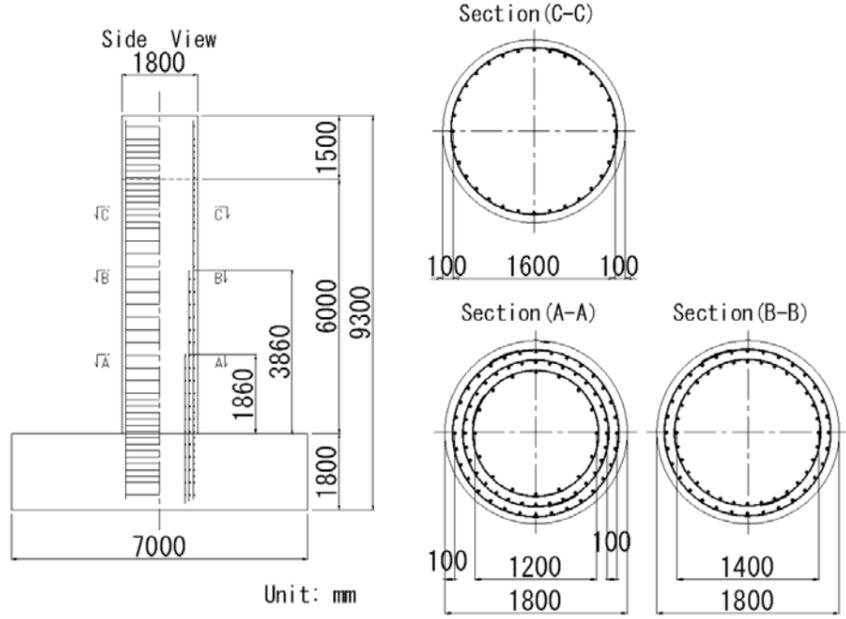
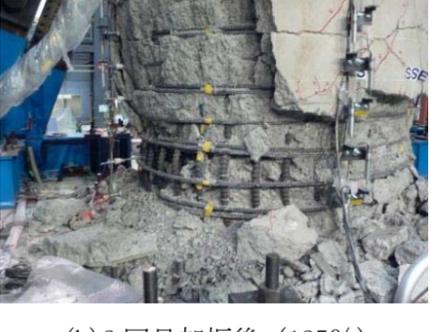
<p>1) C1-1 実験試験橋脚：1970年代に建設されたRC橋脚（基部曲げ破壊タイプ）を対象</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○柱径：1.8m</li> <li>○軸方向鉄筋：D29×2.5段  <math>As=6.424 \times 32 \times 2.5=513.92\text{cm}^2</math></li> <li>○帯鉄筋                      基部・頭部：D13-150ctc                      中間部：D13-300ctc</li> <li>○破壊形態：基部曲げ破壊</li> </ul> 	<p>3) C1-5 実験試験橋脚：現在の技術基準に基づくRC橋脚を対象</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○柱径：2.0m</li> <li>○軸方向鉄筋：D35×2段  <math>As=9.566 \times 36 \times 2.0=688.75\text{cm}^2</math></li> <li>○帯鉄筋：D22-150ctc</li> <li>○破壊形態：基部曲げ破壊</li> </ul> 
<p>2) C1-2 実験試験橋脚：1970年代に建設されたRC橋脚（主鉄筋段落し、せん断破壊タイプ）を対象</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○柱径：1.8m</li> <li>○軸方向鉄筋：                      基部：D29×2.5段                      中間：D29×2.0段                      頭部：D29×1.0段                      1段あたり鉄筋量  <math>As=6.424 \times 32=205.57\text{cm}^2</math></li> <li>○帯鉄筋                      基部・頭部：D13-150ctc                      中間部：D13-300ctc</li> <li>○破壊形態：せん断破壊</li> </ul> 	<p>4) C1-3、4 実験試験橋脚：1970年代に建設されたRC橋脚（主鉄筋段落し、せん断破壊タイプ）を現在の技術基準で耐震補強したものを対象</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○配筋方法：C1-2と同様</li> <li>○補強方法：鋼板巻き立て、カーボンファイバーシート巻き立て</li> </ul>

表-8 地震被害例と実験での損傷状況

兵庫県南部地震による被害状況	実験での再現			
<p>○基部曲げ破壊</p>  <p>橋脚基部のかぶりコンクリートが剥離・崩落し、軸方向鉄筋が座屈している。また、帯鉄筋が外れて機能を喪失している。</p>	<p>C1-1 実験後損傷状況</p>  <p>(a) 1回目加振後(100%)</p>	<p>C1-5 (1) 実験後損傷状況</p>  <p>(a) 1回目加振後(100%)</p>	<p>C1-5 (2) 実験後損傷状況</p>  <p>(a) 1回目加振後(100%)</p>	<p>C1-5 (3) 実験後損傷状況</p>  <p>(a) 1回目加振後 (125%)</p>
	 <p>(b) 2回目加振後(100%)</p>	 <p>(b) 2回目加振後(100%)</p>	<p>注) 上部構造重量と加振回数            C1-1 : 300.8 t、100% 2回加振            C1-5(1) : 307 t、100% 2回加振            C1-5(2) : 372 t、100% 1回加振            C1-5(3) : 372 t、125% 2回加振</p>	 <p>(b) 2回目加振後 (125%)</p>
<p>○せん断破壊</p>   <p>せん断破壊として、2つのタイプがある。            (1) 柱頭部段落し位置から基部段落し位置にかけての斜めせん断破壊 (左側)            (2) 上部段落し位置での曲げせん断破壊 (右側)</p>	<p>主鉄筋段落しを有する RC 橋脚 (せん断破壊タイプ) 実験での損傷例</p>  <p>(a) TIT での静的載荷試験 1</p>  <p>(b) TIT での静的載荷試験 2</p>  <p>(c) PWRI での 1/3 縮小振動台実験</p>			