

純曲げを受ける PRC 梁の 各種限界状態に関する実験的研究

正会員 ○嶋田 洋介*
同 北山 和宏**
同 浜田 公也***

PRC 造 梁 純曲げ
各種限界状態 プレストレスレベル

1.はじめに

プレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)構造の耐震設計では、個々の部材、及び建物全体の地震時応答を意図した通りに制御することを可能とする性能評価型耐震設計法への移行に向けて、様々な研究が行われている。しかし、純曲げを受ける PRC 梁の各種限界状態について検討した研究は少ない。

そこで、本論では梁形試験体に 2 点曲げ载荷する試験を行い、純曲げを受ける PRC 梁部材の各種限界状態を検討した。

2.実験概要

試験体は 2 体である。試験体諸元、材料特性、試験体形状と配筋、载荷装置、及びコンクリートゲージ貼付位置を表一

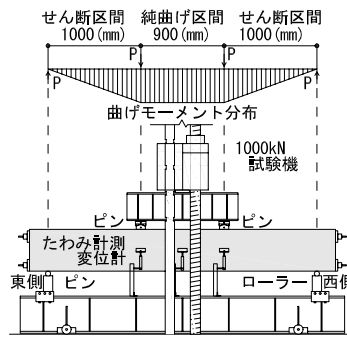


図-2 試験体载荷図



図-3 ゲージ貼付位置

表-1 試験体諸元

試験体名	BS12.7	BS17.8
PC鋼より線	φ 12.7 (SWPR7B)	φ 17.8 (SWPR19)
シース管	#1032	#1038
梁スパン(mm)	2900	
せん断スパン(mm)	1000	
梁断面(mm)	300 × 450	
主筋	上側	2-D10(SD345)
	下側	2-D10(SD345)
せん断補強筋	2-D13(SD345)	
プレストレス率λ	0.75	0.86
プレストレスレベル(%)	4.03	7.71

表-2 材料特性

	圧縮強度 (MPa)	圧縮強度時ひずみ(%)	ヤング係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	
コンクリート	42.3	0.24	28.5	3.04	
PCグラウト	51.8	0.61	14.0	1.87	
鉄筋・PC鋼より線		降伏応力度 (MPa)	降伏ひずみ (%)	ヤング係数 (GPa)	引張強さ (MPa)
D10(SD345)	393	0.21	185	526	
D13(SD345)	366	0.20	185	518	
φ12.7(SWPR7B)	1834	1.07	210	2016	
φ17.8(SWPR19)	1761	1.04	210	1977	

*PC鋼より線はミルシート値、ヤング係数210(GPa)とした

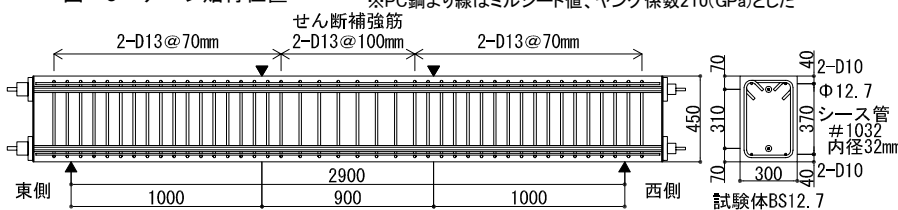


図-1 試験体形状と配筋

表-3 各種限界状態を規定する損傷状況¹⁾

各種限界状態	プレストレス率 λ	普通鉄筋	具体的な損傷状況				残留変形角	残留ひび割れ幅
			PC鋼材		コンクリート			
			付着が良い	付着が悪い	一般の曲げ部材	その他		
使用限界	1~0.75	僅かな降伏を許容	弾性範囲	弾性範囲	0.9σ _B 以下	0.75σ _B 以下	ほぼゼロ	0.2mm程度以下
	0.75~0.5		0.2%オフセット耐力点以下		(14/15λ+0.2)σ _B 以下			
	0.5以下		弾性範囲		2/3σ _B 以下			
修復限界 I	降伏を許容	僅かな降伏を許容	弾性範囲	軽微なかぶりコンクリートの圧壊	1/400程度以下	0.2~1mm程度以下		
修復限界 II	主筋が座屈しないこと	降伏を許容	0.2%オフセット耐力点以下	コアコンクリート部分が健全であること	1/200程度以下	1~2mm程度以下		
安全限界	圧縮筋の座屈引張筋の破断	破断しないこと	降伏を許容	コアコンクリートに圧壊が生じないこと		-		

1, 表-2, 図-1, 図-2, 図-3 に示す。ここで、プレストレス率λは部材の曲げ終局耐力に対する PC 鋼材の寄与率を表し、プレストレスレベルは PC 鋼材の有効導入張力を梁断面面積とコンクリート圧縮強度で除した値である。梁断面(300×450mm)、梁スパン 2900(mm)、コンクリート、PC グラウト、主筋、せん断補強筋は共通とし、PC 鋼材降伏後に曲げ破壊するように設計した。実験変数は PC 鋼より線の種類であり、試験体 BS12.7 にはφ12.7 (SWPR7B) を、試験体 BS17.8 にはφ17.8(SWPR19)を、上下等配筋として 1 本ずつ配置して、プレストレス率λ及びプレストレスレベルを変化させた。

実験は漸増片振り载荷とし、梁中央 900(mm)区間を純曲げ区間とした 2 点曲げ载荷である。载荷ピーク及び除荷の時期は、各種限界状態を規定する損傷状況でもある主筋降伏、PC 鋼材弾性限界及び降伏、圧縮縁コンクリート圧縮強度等とした。ただし、上記事象の直後に別の事象が生じた場合は、残留変形及び残留ひび割れ幅は同程度と考え除荷しなかった。ここで、圧縮縁コンクリート圧縮強度は、圧縮縁から 20(mm)、及び 40(mm)の位置に貼付したコンクリートゲージ(検長 60mm)の出力から算出したコンクリート圧縮縁のひずみが、材料試験による圧縮強度時ひずみに達した時とした。また、载荷ピーク及び除荷時に引張側主筋位置におけるひび割れ幅を、クラック・スケールを用いて測定した。

3.実験結果

3.1 破壊形式

最終载荷ピーク時のひび割れ状況を図-4 に、梁せん断カーブ率及び梁中央たわみ関係を図-5 に示す。曲率は純曲げ区間の曲率分布を矩形とし、梁中央及び载荷点のたわみから算出した。両試験体とも最大耐力に達する前に主筋及び PC 鋼材が降伏し、圧縮縁コンクリートは圧縮強度に到達した。最大耐力は試験体 BS12.7 で 119 (kN)、試験体 BS17.8 で 187(kN)となり、PC 鋼材をφ12.7 からφ17.8 に変化させることで最大耐力が 57%上昇した。また、最大耐力時

の圧縮縁コンクリートひずみは試験体 BS12.7 で 0.36(%)、試験体 BS17.8 で 0.39(%)であった。プレストレスレベルの大きい試験体 BS17.8 は圧縮縁コンクリートの損傷が大きく、かぶりコンクリートの剥落が顕著に見られたが、プレストレスレベルの小さい試験体 BS12.7 は圧縮側コンクリートの損傷が少なく、引張側主筋が破断した。

3.2 各種限界状態について

各種限界状態を規定する損傷状況の提案例¹⁾を表-3 に示す。提案例における残留変形角は、片持ち梁端部に集中荷重が作用する状態の梁部材角で規定しており、この場合、一般に損傷は梁危険断面が最も激しい。また、本論試験体は純曲げ区間に損傷が集中した。そのため、片持ち梁の梁危険断面における曲率と、試験体の純曲げ区間における曲率は、「最も損傷が激しい部分における曲率」という意味では同等と考えられる。そこで、片持ち梁の除荷時の曲率分布を三角形と仮定して、提案例の残留変形角 1/400, 1/200 を、曲率 5.0, 10.0(1/mm×10⁻⁶)にそれぞれ変換し、残留変形角を純曲げ区間における曲率で検討した。また、PC 鋼材の表-3 内の損傷状況は「付着が良い」で検討した。

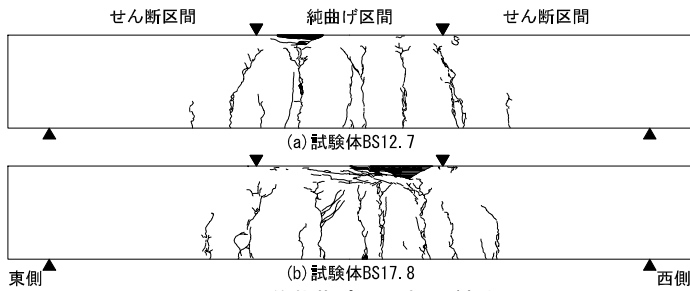


図-4 最終載荷ピーク時ひび割れ図

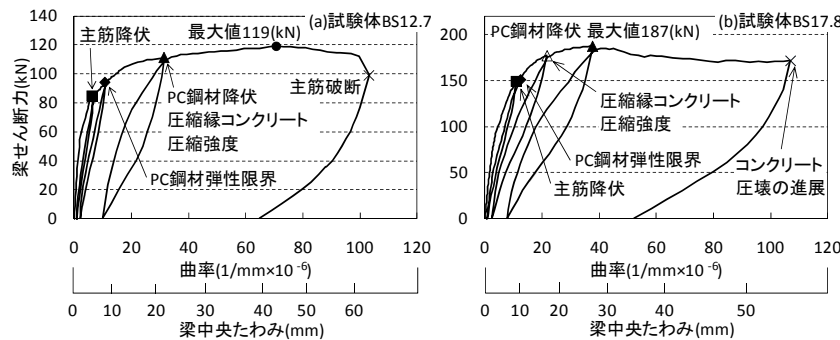


図-5 荷重変形関係

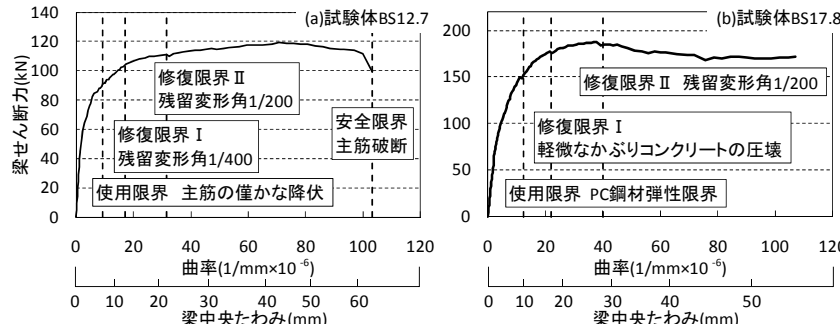


図-6 各種限界状態

3.3 各種限界状態の検討

各種限界状態、及び純曲げ区間における各事象発生点を図-6、表-4 に示す。圧縮側コンクリートの損傷状況は“軽微なかぶりコンクリートの圧壊”を圧縮ひび割れ発生で、“コアコンクリート部分が健全であること”をかぶりコンクリートの剥落で判断した。使用限界が“主筋の僅かな降伏”，あるいは“PC 鋼材弾性限界”で、2つの修復限界の大半が残留変形角で決まり、文献 2)の十字形部分架構内の梁部材の結果に類似した。試験体 BS17.8 の修復限界 I が“軽微なかぶりコンクリートの圧壊”で決まったのは文献 2)に比べて、コンクリートの圧縮強度が低い、あるいはプレストレスレベルが大きいことが一因と考えられる。また、コンクリートの圧縮強度が文献 2)に比べて低かったが、使用限界は圧縮側コンクリートの損傷では決まらなかった。試験体 BS12.7 は“主筋破断”で安全限界が決まったが、試験体 BS17.8 はコアコンクリートの損傷や耐力の大幅な低下が確認できないため、安全限界には到達しなかったと判断した。

4.まとめ

梁形試験体の 2 点曲げ載荷試験より以下の知見を得た。

- (1) 鋼材をφ12.7からφ17.8に変化させることによって最大耐力が 57(%)上昇し、最大耐力時の圧縮縁コンクリートひずみは試験体 BS12.7 で 0.36(%)、試験体 BS17.8 で 0.39(%)であった。
- (2) 両試験体の各種限界状態は使用限界が“主筋の僅かな降伏”，あるいは“PC 鋼材弾性限界”で、修復限界の大半が残留変形角で決まった。これは、文献 2)の十字形部分架構内の梁部材の結果に類似した。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科学研究費補助金・基盤研究 C により行った。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：PC 構造研究の現状，新 PC 基準へ向けての活動およびプレストレス技術を有効利用した建物例，日本建築学会大会 PD 資料，2007.8
- 2) 嶋田洋介，北山和宏：PC 柱梁十字形部分架構の梁部材における各種限界状態の検討，日本地震工学会大会 2009 梗概集，pp.22-23，2009.11

表-4 各事象発生点

	各種限界状態を規定する損傷状況	曲率(1/mm×10 ⁻⁶)	
		試験体 BS12.7	試験体 BS17.8
コンクリート	0.9σ _B 到達	22.2	13.9
	軽微なかぶりコンクリートの圧壊	70.7	22.1
	コアコンクリートが健全であること	93.2	71.7
主筋	コアコンクリートに損傷	—	—
	降伏ひずみε _y 到達	6.3	10.9
	僅かな降伏(2ε _y 到達)	9.4	28.7
PC鋼材	座屈・破断	103.2	—
	弾性限界	10.7	12.4
残留変形角	降伏	31.4	37.7
	1/400	17.0	28.2
残留ひび割れ幅	1/200	31.7	40.1
	0.2mm	12.6	24.9
	1mm	33.3	57.6
	2mm	39.5	87.4

※色つき：各試験体の各種限界状態を規定した損傷状況

*首都大学東京大学院建築学域修士課程

**首都大学東京大学院建築学域教授 工博

***株式会社ピーエス三菱技術本部技術部部长 博(工)

* Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

**Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng

***Building Research & Engineering DEPT, P.S. Mitsubishi Construction Co. Ltd., Dr.Eng.