

(65) アンボンドPC鋼線用定着装置の開発実験について

フドウ建研 株式会社 菊池 誠二 妹尾 正和
 川鉄テクノワイヤ 株式会社 武井 雅光 ○ 庄司 茂雄

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート構造物にアンボンド工法を採用する物件が急増しており、その重要部品である定着装置には特に有効性、安全性が求められている。

本報告では、両社で開発した設計基準強度300 kgf/cm²未満のコンクリートに適用するアンボンドPC鋼線用定着装置に関して、その有効性、安全性の確認をするために行った各種実験について報告するものである。

2. 定着装置の概要

本実験に使用した定着装置は、設計基準強度300 kgf/cm²未満、応力導入時強度200 kgf/cm²以上のコンクリートに適用するものである。

定着装置の形状・寸法および仕様を図1に示す。

材質としては、キャストリングは鋳鉄（FCD 50）、くさびは鋼製（SCM 415）にて各々製作した。

3. 開発実験

本実験では建設省住指発第404号に基づいた（1）定着装置の性能試験、（2）コンクリートと組み合わせた状態での性能試験、（3）アンボンド状態で用いる緊張材定着部コンクリートの疲労試験に加えて、（4）定着装置の高サイクル疲労試験の4種類の実験を行った。実験は自社および（財）建材試験センターにおいて行った。

3.1 使用材料

本実験に使用したPC鋼線の機械的性質を表1に、キャストリングを製作するのに用いた鋳鉄の機械的性質を表2に、コンクリート試験体の補強筋に用いた鉄筋の機械的性質を表3に示す。

また、コンクリートは普通コンクリートを用いた。

以下各種実験について記す。

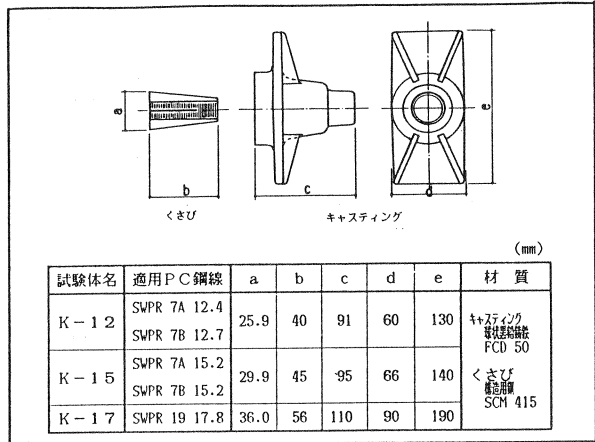


図-1 定着装置の形状・寸法および仕様

表-1 PC鋼線の機械的性質

定着装置	PC鋼線	断面積 (mm ²)	引張荷重 (kgf)	降伏荷重 (kgf)	伸び (%)	ヤング係数 (kgf/mm ²)
K-12	SWPR 7B 12.7	98.7	20,200	18,900	6.8	19,800
K-15	SWPR 7B 15.2	138.7	28,300	26,300	6.8	19,700
K-17	SWPR 19 17.8	208.4	41,500	36,000	6.1	19,800

表-2 鋳鉄の機械的性質

試験体名	材質	引張強度 (kgf/mm ²)	降伏強度 (kgf/mm ²)	伸び (%)
K-12	FCD 50	52.3	36.6	15
K-15				16
K-17				16

表-3 鉄筋の機械的性質

種類	降伏強度 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)
SD30A D10	40.1	57.7
SD30A D13	35.5	49.5

3. 2 定着装置の性能試験

この試験は、定着装置とPC鋼材間の定着性能および定着装置の剛性を調べるためのものである。試験は図1に示すK-12、K-15、K-17の3サイズ各3体で行った。

(1) 試験体

試験体である定着装置の形状および寸法は前記図1に示すとおりである。

(2) 試験方法

試験体の加力は図2に示すように200tfアムスラー型万能試験機にて行った。試験は、表4に示す加力段階毎に、次の項目について測定を行った。

- ① PC鋼線のすべり
- ② 定着装置の変形・損傷の有無および歪
- ③ PC鋼線の破断状況

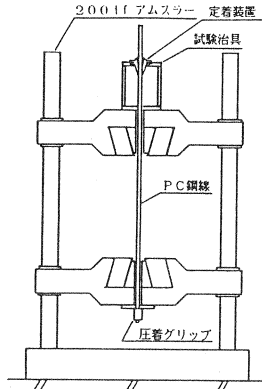


図-2 加力方法

表-4 加力段階

加力段階	荷重 (tf)		
	K-12	K-15	K-17
測定初期値	1.00	1.00	1.00
PC鋼材の許容引張荷重×1.1	13.99	19.89	29.57
PC鋼材の降伏荷重	15.90	22.60	33.60
破断	-	-	-

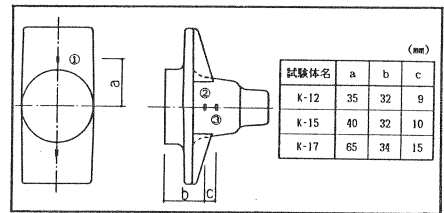


図-3 歪ゲージの貼付位置

歪ゲージ貼付位置を図3に示す。

表-5 試験結果

(3) 試験結果

表5にPC鋼線のすべり、定着装置の変形・損傷状況を示し、図4に定着装置の歪度を示す。

試験結果については3サイズに共通して次のことがいえる。

- ① PC鋼線のすべりは0.6 mm以下で性能に影響ないと考えられる。
- ② 定着装置の変形・損傷等はなかった。
- ③ 定着装置表面の歪度については、PC鋼線許容引張荷重時(0.8Py)で素材である鋳鉄の降伏時歪度の50%以下であった。
- ④ PC鋼線の破断時荷重は、PC鋼線の規格引張荷重を満足した。

試験体名	測定項目	一定荷重時 (mm)			最大荷重時		
		加力期間	0.8Py×1.1	Py	Pmax(tf)	破壊状況	
K-12	-1	PC鋼線のすべり	0	0.2	0.3	18.9	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
	-2	PC鋼線のすべり	0	0.3	0.4	19.7	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
	-3	PC鋼線のすべり	0	0.2	0.4	19.0	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
K-15	-1	PC鋼線のすべり	0	0.2	0.2	27.5	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
	-2	PC鋼線のすべり	0	0.6	0.6	27.5	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
	-3	PC鋼線のすべり	0	0.4	0.5	27.5	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
K-17	-1	PC鋼線のすべり	0	0.3	0.5	41.8	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
	-2	PC鋼線のすべり	0	0.4	0.6	41.4	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		
	-3	PC鋼線のすべり	0	0.4	0.6	39.8	PC鋼線の破断
		定着装置の変形・損傷の有無	無し	無し	無し		

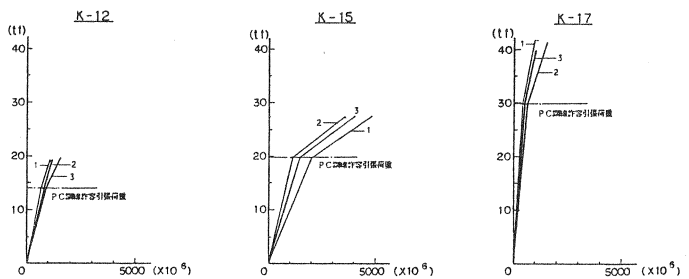


図-4 定着装置の歪度

(②の位置について示す)

以上より、本定着装置は十分な性能を有していると考えられる。

3.3 コンクリートと組み合わせた状態での性能試験

この試験は、定着装置をコンクリート中に埋設したときの定着性能を調べるものである。試験は、定着装置の性能試験と同様に、3サイズ各3体で行った。

(1) 試験体

試験体の形状・寸法および仕様を図5に示す。定着装置は、図1に示すものである。

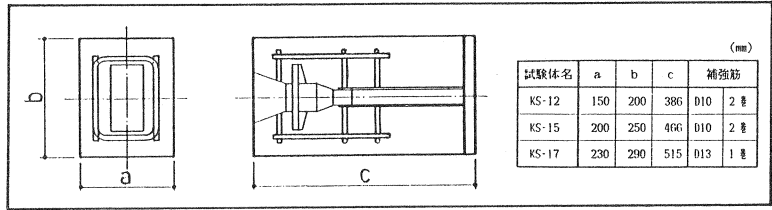


図-5 試験体の形状・寸法および仕様

(2) 試験方法

試験体の加力は図6に示すようにアムスラー型万能試験機にて行った。試験は表6に示す加力段階毎に、次の項目について測定を行った。

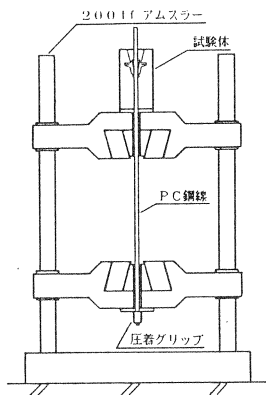


表-6 加力段階

加力段階	荷重 (tf)		
	KS-12	KS-15	KS-17
測定初期値	1.00	1.00	1.00
PC鋼材の許容引張荷重×1.1	13.99	19.89	29.57
PC鋼材の降伏荷重	15.90	22.60	33.60
PC鋼材の引張荷重	18.70	26.60	39.50
破断	-	-	-

- ① PC鋼線のすべり
- ② 定着装置のめり込み
- ③ コンクリートのひび割れ幅
- ④ コンクリート表面の歪度
- ⑤ 試験後の定着装置の損傷、およびPC鋼線の破断状況

歪ゲージの貼付位置を図7に示す。図-6 加力方法

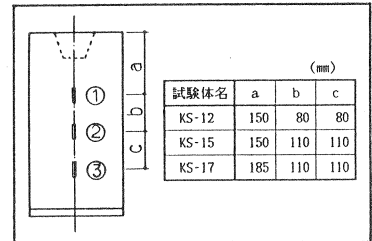


図-7 歪ゲージの貼付位置

(3) 試験結果

表7に試験結果を示し、図8にコンクリート表面の歪度を示す。

試験結果については3サイズに共通して次のことがいえる。

- ① PC鋼線のすべりは0.8mm以下で性能に影響ないと考えられる。

表-7 試験結果

試験体名	測定項目	一定荷重時 (mm)				ひび割れ発生 (tf)	最大荷重時		試験体の破断の状況、露筋の有無	
		加力時	0.8P _u ×1.1	P _u	P _u		P _{max} (tf)	破壊状況		
KS-12	-1	PC鋼材のすべり	0	0.2	0.3	0.4	15.9	19.8	PC鋼材の破断	無し
		定着装置のめり込み	0	0.08	0.10	0.11				
		コンクリートのひび割れ幅	-	-	0.01	0.02				
	-2	PC鋼材のすべり	0	0.3	0.4	0.4				
		定着装置のめり込み	0	0.07	0.09	0.10				
		コンクリートのひび割れ幅	-	-	0.01	0.02				
-3	PC鋼材のすべり	0	0.2	0.4	0.5					
	定着装置のめり込み	0	0.10	0.12	0.15					
	コンクリートのひび割れ幅	-	-	0.01	0.02					
KS-15	-1	PC鋼材のすべり	0	0.2	0.4	0.5	24.3	27.5	PC鋼材の破断	無し
		定着装置のめり込み	0	0.10	0.13	0.22				
		コンクリートのひび割れ幅	-	-	-	-				
	-2	PC鋼材のすべり	0	0.5	0.7	0.7				
		定着装置のめり込み	0	0.10	0.13	0.18				
		コンクリートのひび割れ幅	-	-	-	-				
-3	PC鋼材のすべり	0	0.3	0.4	0.4					
	定着装置のめり込み	0	0.09	0.13	0.32					
	コンクリートのひび割れ幅	-	-	-	0.05					
KS-17	-1	PC鋼材のすべり	0	0.3	0.5	0.6	33.6	40.2	PC鋼材の破断	無し
		定着装置のめり込み	0	0.12	0.17	0.20				
		コンクリートのひび割れ幅	-	-	0.04	0.06				
	-2	PC鋼材のすべり	0	0.3	0.4	0.6				
		定着装置のめり込み	0	0.14	0.17	0.22				
		コンクリートのひび割れ幅	-	-	0.04	0.10				
-3	PC鋼材のすべり	0	0.4	0.6	0.8					
	定着装置のめり込み	0	0.15	0.24	0.31					
	コンクリートのひび割れ幅	-	-	-	0.04					

注) 試験時コンクリート強度 KS-12 216, 209, 218 平均 214 kgf/cm²
 KS-15 215, 228, 234 平均 226 kgf/cm²
 KS-17 216, 219, 215 平均 217 kgf/cm²

- ② 定着装置のめり込みは0.32mm以下で性能に影響ないと考えられる。
- ③ コンクリートのひび割れ幅は0.1mm以下であった。
- ④ コンクリート表面の歪度は 350×10^{-6} 以下であった。
- ⑤ 試験後の定着装置に損傷はなかった。
- ⑥ PC鋼線の破断荷重は、規格引張荷重を満足した。

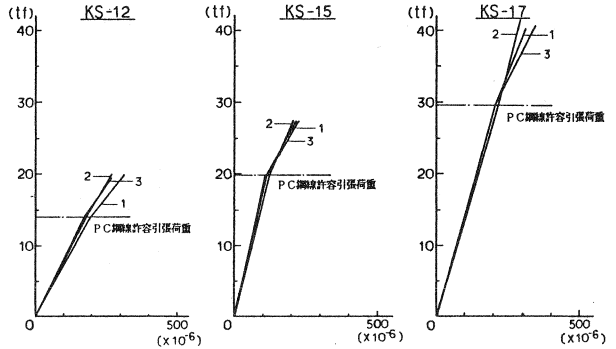


図-8 コンクリート表面の歪度

(②の位置について示す)

以上より、本定着装置はコンクリートに埋設した状態で十分な定着性能を有していると考えられる。

3.4 アンボンド状態で用いる緊張材定着部コンクリートの疲労試験

この試験は、PC鋼材をアンボンドの状態、かつ、その構造部材が低サイクルの繰返し応力もしくは、繰返し強制変形を受ける可能性のある場合の定着部の安全性を確認するためのものである。試験は定着装置の性能試験と同様に3サイズ各3体で行った。

(1) 試験体

試験体の形状・寸法および仕様は図5に示したものと同一とした。

(2) 試験方法

試験体の加力は図6と同様とし、50回の繰返しを行った。また、測定項目についても前記3.3の試験と同様に行った。加力段階は表8に示す。

(3) 試験結果

表9-1、9-2、9-3に試験結果を示し、図9にコンクリート表面の歪度を示す。

表-8 加力段階

加力段階	荷重 (tf)		
	KL-12	KL-15	KL-17
測定初期値	1.0	5.0	1.0
PC鋼材の許容引張荷重×1.1	13.99	19.89	29.57
PC鋼材の規格降伏荷重(P _y)	15.90	22.60	33.60
PC鋼材の規格引張荷重(P _u)×0.9	16.83	23.94	35.55
PC鋼材の規格引張荷重(P _u)×0.5	9.35	13.30	19.75
PC鋼材の許容引張荷重×1.1	13.99	19.89	29.57
PC鋼材の規格降伏荷重(P _y)	15.90	22.60	33.60
PC鋼材の規格引張荷重(P _u)×0.9	16.83	23.94	35.55
PC鋼材の規格引張荷重(P _u)×0.95	17.77	25.27	37.53
破断	—	—	—

表-9-1 試験結果 (KL-12)

試験体名	測定項目	繰返し回数	一定荷重時 (mm)				ひび割れ発生荷重 (tf)	ひび割れ発生荷重 (mm)	引張荷重 (P _u) × 0.95時の変位 (mm)	最大荷重時 P _{max} (tf)	破断状況	試験後の定着装置の変形・損傷の有無
			加力初期	規格引張荷重 (P _u) × 0.5	許容引張荷重 (0.8P _y) × 1.1	規格降伏荷重 (P _y)						
KL-12-1	PC鋼線のすべり	1	0	0.2	0.3	0.5	16.83	0.5 (5分保持後0.5)	18.7	PC鋼線の破断	無し	
		50	0.5	0.5	0.5							
	定着装置のめり込み	1	0	0.07	0.10	0.13						
		50	0.17	0.20	0.22	0.25						
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	0.04						
		50	0.05	0.06	0.06	0.06						
KL-12-2	PC鋼線のすべり	1	0	0.3	0.3	0.4	15.70	0.4 (5分保持後0.5)	19.0	PC鋼線の破断	無し	
		50	0.4	0.4	0.4	0.4						
	定着装置のめり込み	1	0	0.09	0.12	0.15						
		50	0.15	0.17	0.18	0.24						
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	0	0						
		50	0.04	0.04	0.04	0.04						
KL-12-3	PC鋼線のすべり	1	0	0.3	0.4	0.5	15.70	0.5 (5分保持後0.5)	18.7	PC鋼線の破断	無し	
		50	0.5	0.5	0.5	0.5						
	定着装置のめり込み	1	0	0.09	0.11	0.15						
		50	0.16	0.16	0.18	0.20						
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	0.04	0.04						
		50	0.04	0.04	0.04	0.04						

注1) 試験時コンクリート強度 216, 215, 219 平均 217 kgf/cm²

注2) 測定は10回ごとに行い、表には1・50回のみ記載した。

表-9-2 試験結果 (KL-15)

試験体名	測定項目	繰返回数	一定荷重時 (mm)				ひび割れ発生荷重 (tf)	引張荷重 (P ₀) × 0.95時の変位 (mm)	最大荷重時 P _{max} (tf)	破壊状況	試験後の定着装置の 変形・損傷の有無
			加力初期	規格引張荷重 (P ₀) × 0.5	許容引張荷重 (0.8P ₀) × 1.1	規格降伏荷重 (P _{0.2})					
KL-15-1	PC鋼線のすべり	1	0	0.9	0.9	1.0	1.1	0.8	26.8	PC鋼線の破断	無し
		50	0.9	0.9	0.9	0.9	(5分保持後0.9)				
	定着装置のめり込み	1	0	0.14	0.14	0.17	0.21	0.26			
		50	0.24	0.26	0.26	0.26	(5分保持後0.26)				
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	—	0	0			
		50	0	0	0	0	(5分保持後0)				
KL-15-2	PC鋼線のすべり	1	0	0.2	0.6	0.6	0.5	0.6	26.9	PC鋼線の破断	無し
		50	0.5	0.6	0.6	0.6	(5分保持後0.6)				
	定着装置のめり込み	1	0	0.11	0.15	0.18	0.33	0.33			
		50	0.27	0.31	0.31	0.31	(5分保持後0.37)				
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	—	0	0			
		50	0	0	0	0	(5分保持後0)				
KL-15-3	PC鋼線のすべり	1	0	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6	27.0	PC鋼線の破断	無し
		50	0.5	0.4	0.5	0.4	(5分保持後0.6)				
	定着装置のめり込み	1	0	0.09	0.12	0.13	0.20	0.20			
		50	0.16	0.19	0.19	0.19	(5分保持後0.22)				
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	—	0	0.05			
		50	0.05	0.05	0.05	0.05	(5分保持後0.06)				

注1) 試験時コンクリート強度 181, 158, 169 平均 169 kgf/cm²

注2) 測定は10回ごとに行い、表には1・50回のみ記載した。

表-9-3 試験結果 (KL-17)

試験体名	測定項目	繰返回数	一定荷重時 (mm)				ひび割れ発生荷重 (tf)	引張荷重 (P ₀) × 0.95時の変位 (mm)	最大荷重時 P _{max} (tf)	破壊状況	試験後の定着装置の 変形・損傷の有無
			加力初期	規格引張荷重 (P ₀) × 0.5	許容引張荷重 (0.8P ₀) × 1.1	規格降伏荷重 (P _{0.2})					
KL-17-1	PC鋼線のすべり	1	0	0.3	0.5	0.8	0.8	0.8	41.6	PC鋼線の破断	無し
		50	0.7	0.7	0.8	0.8	(5分保持後0.8)				
	定着装置のめり込み	1	0	0.14	0.20	0.25	0.32	0.32			
		50	0.27	0.27	0.29	0.31	(5分保持後0.35)				
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	—	0	0.8			
		50	0.04	0.04	0.06	0.06	(5分保持後0.08)				
KL-17-2	PC鋼線のすべり	1	0	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8	39.8	PC鋼線の破断	無し
		50	0.8	0.8	0.8	0.8	(5分保持後0.9)				
	定着装置のめり込み	1	0	0.09	0.12	0.15	0.27	0.27			
		50	0.17	0.20	0.20	0.23	(5分保持後0.29)				
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	—	0	0.06			
		50	0.04	0.05	0.06	0.06	(5分保持後0.08)				
KL-17-3	PC鋼線のすべり	1	0	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	41.8	PC鋼線の破断	無し
		50	0.7	0.7	0.7	0.7	(5分保持後0.8)				
	定着装置のめり込み	1	0	0.10	0.17	0.22	0.30	0.30			
		50	0.25	0.27	0.30	0.30	(5分保持後0.33)				
	コンクリートのひび割れ幅	1	—	—	—	—	0	0.08			
		50	0.04	0.04	0.06	0.06	(5分保持後0.08)				

注1) 試験時コンクリート強度 202, 214, 211 平均 209 kgf/cm²

注2) 測定は10回ごとに行い、表には1・50回のみ記載した。

試験結果については3サイズに共通して次のことがいえる。

- ① PC鋼線のすべりは0～1.1mmと微小であった。
- ② 定着装置のめり込みは0.31mm以下で性能に影響ないと考えられる。
- ③ コンクリートのひび割れ幅は0.06mm以下であった。
- ④ 緊張材の規格引張荷重×0.95で5分間保持後の試験体には異常なかった。
- ⑤ コンクリートの歪度については最大で400×10⁻⁶程度であった。

以上の結果より、本定着装置はアンボンド状態で使用しても十分安全性を確保出来ると考えられる。

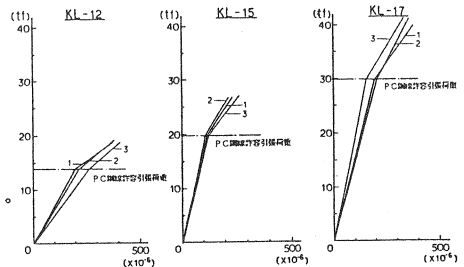


図-9 コンクリート表面の歪度 (②の位置について示す)

3. 5 定着装置の高サイクル疲労試験

この試験は、P C 鋼材をアンボンドの状態で行い、かつ、その構造部材が高サイクルの繰返し応力もしくは強制変形を受ける可能性のある場合の定着装置の有効性、安全性を確認するためのものである。試験は定着装置の性能試験と同様に3サイズ各3体で行った。

(1) 試験体

試験体は定着装置単体とし、その形状寸法は図1に示す。

(2) 試験方法

試験は図10に示すように電気油圧式構造物疲労試験機(動的最大荷重150tf)を用い、試験機定着部と定着装置を専用治具でセッ

トし、P C 鋼線を緊張することにより引張疲労試験を行った。その試験条件を表10に示す。

表-10 試験条件

試験体名	下限荷重 $0.6 \times P_u$ (kgf)	上限荷重 上限荷重 + 亀裂 (kgf)	断 裂 強度 f_{cm} × 断面積 (kgf)	周 波 数 (Hz)	試験回数 (回)
KH-12	11,200	12,207	907	約 6	2×10^6
KH-15	15,990	17,347	1,307		
KH-17	23,700	25,784	2,084		

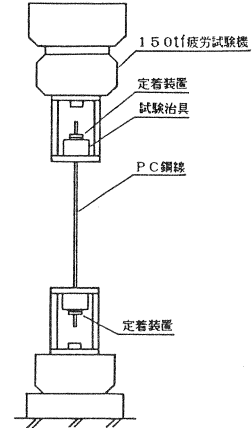


図-10 加力方法

測定は次の項目について行った。

- ① 200万回試験中および終了後の定着装置の変形・損傷、P C 鋼線の破断
- ② 試験後 P C 鋼線の引張荷重
- ③ 引張試験後の定着装置の変形・損傷状況

(3) 試験結果

表11に試験結果を示す。

試験については3サイズに共通して次のことがいえる。

- ① 試験回数200万回まで定着装置に変形・亀裂・損傷等はなかった。
- ② 試験終了後におけるP C 鋼線引張荷重の低下率は2.8~5.7%であり、十分に再使用に耐える引張荷重を有していた。
- ③ 引張試験後の定着装置の変形・亀裂・損傷等はなかった。

以上の結果より、本定着装置は高サイクルの繰返し荷重を受けても十分な有効性、安全性を確保出来ると考えられる。

表-11 試験結果

項目	KH-12			KH-15			KH-17		
	-1	-2	-3	-1	-2	-3	-1	-2	-3
200万回終了時の P C 鋼線定着装置	異常	異常	異常	異常	異常	異常	異常	異常	異常
試験前P C 鋼線の 引張荷重 (tf)	20.2			28.3			42.2		
試験後P C 鋼線の 引張荷重 (tf)	19.3	19.1	19.1	27.5	27.3	27.5	39.8	39.9	39.9
*1 低下率 (%)	4.5	5.4	5.4	2.8	3.5	2.8	5.7	5.5	5.5
破断後の 定着装置	異常	異常	異常	異常	異常	異常	異常	異常	異常

$$*1 \text{ 低下率} = 100 - \frac{\text{試験後P C 鋼線の引張荷重}}{\text{試験前P C 鋼線の引張荷重}} \times 100$$

4. まとめ

本報告の4種類の試験結果は、建設省住指発第404号の個々の判定基準をすべて満足するものであった。この結果から判断して、本定着装置は建築・土木の両分野におけるプレストレストコンクリート構造物に適用可能な有効性、安全性を有すると考えられる。