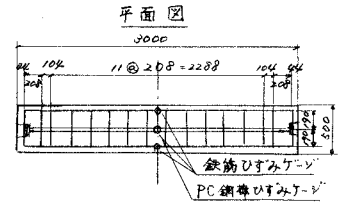


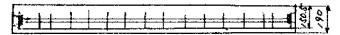
国鉄 構造物設計事務所 正会員 ○ 寺島 優
東京工業大学 大学院 学生員 丸山 博

1 まえがき

軌道スラブは、保守労力の確保がむずかしくなってきたので、山陽新幹線などにおいて大量に施工され、鉄筋コンクリート軌道スラブ（RC軌道スラブ）については安全性が確認され、問題点の解明がなされてきた。しかし、新幹線の北進にともない、軌道スラブも寒冷地で大量に施工されるようになった。このため凍害による耐久性の低下などのおそれがあるので、プレストレスを導入することが考えられ、種々の研究が進められてきた。ここでは「プレストレスト鉄筋コンクリート軌道スラブ（PRC軌道スラブ）の静的および動的載荷試験」と名付けて行った試験結果の概略について述べる。



側面図



横断面図



図-1 試験体

2 試験概要

PRC軌道スラブとRC軌道スラブのひび割れ状態を確認するため、有効プレストレス量を $0 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ で変化させ試験を行なった。

2-1 試験体

試験体は、図-1に示す寸法のもを有効プレストレス量 0 kg/cm^2 が2体、 5 kg/cm^2 が1体、 10 kg/cm^2 が3体、 20 kg/cm^2 が2体、合計8体を製作した。

これらの試験体のコンクリート配合表は表-1に示すとおりである。なお設計基準強度 $\sigma_k = 400 \text{ kg/cm}^2$ で、使用セメントは早強ポルトランドセメントである。

2-2 試験方法

載荷試験に先立って、プレストレス導入時にPC鋼棒および鉄筋に接着したひずみゲージにより、鋼棒のひずみおよび鉄筋のひずみを測定した。

表-1 コンクリート配合表

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラブ の断面 (cm)	空気量 の率 (%)	単位 重量 W (kg)	単位 重量 C (kg)	単位 重量 W/C (%)	単位 重量 S/A (%)	単位 重量 S (kg)	単位 重量 G (kg)	単位 重量 [cc](g)
1m ³	25	5~7	2~4	167	418	40	40	718	1097

	比 重	単位容積重量	粗粒率	吸水率
粗骨材	2.60	1,700	3.20	1.80
粗骨材	2.65	1,730	7.19	0.60

試験は、まず静的試験をした後、引き続き疲労試験を実施

し、繰り返し回数、 1×10^4 、 30×10^4 、 70×10^4 、 130×10^4 、 200×10^4 回ごとに疲労試験における最高荷重までの静的曲げ試験を行ない、繰り返し荷重をうけた後の曲げ挙動を所定の測定項目によって検討した。

疲労試験時における荷重速度は、共振の影響がないよう毎分250回とした。

2-3 測定項目

静的曲げ試験では、各荷重段階において次の項目について測定および観測を行なった。各測定位置は図-2のとおりである。

(1) コンクリート表面ひずみ

試験体中央部のコンクリート上縁および下縁にひずみゲージを上縁3ヶ所

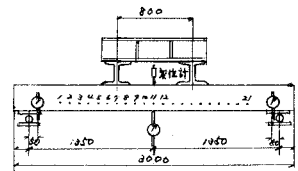


図-2 載荷試験測定点位置

下縁2ヶ所に接着し、曲げ圧縮ひずみおよび曲げ引張ひずみを測定し、ひびわれ幅の発生を検討した。

(2) PC鋼棒、鉄筋のひずみ

試験体中央部のPC鋼棒(1ヶ所)、鉄筋(3ヶ所)のひずみを測定した。また前述のプレストレス導入時とプレストレス導入時から試験体令までのひずみ変化を測定した。

(3) スラブのたわみ

スパン中央(2ヶ所)、支点近傍位置(支点中心から5cmの位置、4ヶ所)の計6ヶ所に、ダイヤルゲージ(最小目盛 $1/100\text{mm}$)を取りつけてたわみを測定した。なお中央点のたわみについては支点沈下の影響を考慮した。

(4) ひびわれ幅

図-2に示すように下縁から4cm(主鉄筋の位置)のところにA側面、B側面について各21点づつコンタクトボールを10cm間隔に貼リ、それらの標点を用いてコンタクト型ひずみ計(最小目盛 $1/1000\text{mm}$)によって、ひびわれ幅の進行状況を測定した。

2-4 荷重段階の設定

荷重の設定は、疲労試験に先立ち静的載荷試験した結果に基づいて、上限荷重を決め、PRCスラブの疲労耐力を検討した。

表-2にそれぞれの試験体の荷重を示すが、鉄筋の引張応力が 1800kg/cm^2 と 1000kg/cm^2 となるよう荷重を2段階に設定した。

表-2 疲労試験荷重

供試体No.	上限荷重 (ton)	下限荷重 (ton)
0-1	5	1
0-2	3	1
5-1	6	1
10-1	7	1
10-2	5	1
10-3	7	1
20-1	6	1
20-2	7	1

2-5 コンクリート供試体の試験

各試験体のコンクリート打設時に10φ×20cmの供試体を採取し、載荷試験時に、コンクリートの圧縮強度、弾性係数および曲げ強度を測定した。

3 試験結果および考察

3-1 測定結果

載荷試験を実施した結果、鉄筋の降伏荷重および破壊荷重は表-3に示すとおりであり、ひびわれ発生荷重は8体とも2.0t以下の荷重で発生し、また破壊状況は鉄筋、PC鋼棒が降伏した後、上縁コンクリートの曲げ圧縮破壊した。

表-4に各試験体令におけるコンクリートの強度試験結果を示す。

3-2 PC緊張材の引張応力度の減少

PC鋼棒および鉄筋のひずみ量の日変化を、プレストレス導入時から試験体令までの緊張管理とその特性を知る目的で測定した。

プレストレス導入時におけるPC鋼棒の緊張応力 61.5kg/cm^2 (ひずみ 2076×10^{-6})とした場合、それぞれのPC鋼棒の引張応力の減少は試験体令までの日数により5~17%程度であった。

表-5は各試験体の減少量であり、0-1、0-2のPC鋼棒は緊張してない。

3-3 ひびわれ幅について

本実験で得られた結果、最大ひびわれ幅および純曲げスパン間の平均ひびわれ幅と鉄筋応力度の関係も供試体

表-3 載荷試験結果

供試体 No.	降伏荷重 (ton)	破壊荷重 (ton)
0-1	10.8	15.0
0-2	11.0	14.6
5-1	12.0	16.0
10-1	12.5	17.3
10-2	12.0	16.9
10-3	12.9	16.8
20-1	16.0	19.5
20-2	15.0	18.0

表-4 載荷試験時、コンクリート強度試験結果

供試体 No.	打 設 日	試 験 日	圧縮強度 (kg/cm^2) 圧縮強度 平均強度	曲り強度 (kg/cm^2)	弾性係数 (10^4) 弾性係数 平均
0-1	6/5	8/4	446 469 466	460	2.81 2.72 2.78
0-2	6/5	7/4	452 428 425	405	2.78 2.71 2.61
5-1	6/5	8/11	431 423 428	427	2.66 2.64 2.65
10-1	6/5	7/10	467 397 433	402	2.64 2.81 2.65
10-2	6/5	6/26	437 438 440	440	2.64 2.54 2.39
10-3	6/5	7/5	500 491 450	481	2.91 2.84 2.77
20-1	6/5	8/21	462 441 494	466	2.91 2.74 2.57
20-2	6/3	8/28	433 434 411	425	2.30 2.54 2.54

No. 5-1。処女載荷時を例にとりて検討してみると、
図-3 のようになり、既往の研究によっても明らか
にされているように、最大ひびわれ幅は平均ひびわ
れ幅の約1.5倍である。表-6 は供試体 No. 10-1 の
200万回載荷後のひびわれ幅であるが、最大ひびわ
れ幅は平均ひびわれ幅の約1.7倍である。

処女載荷時、鉄筋応力度と最大ひびわれ幅の関係
を図-4 に示す。この結果からプレストレスはい
っている供試体では、鉄筋応力度 1000 kg/cm^2 で最大ひ
びわれ幅 0.1 mm であることがわかる。しかし200万回
載荷後の最大ひびわれ幅についてみると、表-7 に示すように
鉄筋応力度 1000 kg/cm^2 となるような最大荷重を設定した供試体(0-2,
10-2, 20-1)では、 $0.15 \sim 0.20 \text{ mm}$ となっている。

図-5 には残留最大ひびわれ幅の変化を示す。PRCスラブ
で鉄筋応力度 1000 kg/cm^2 となるような最大荷重を設定した供試体(
10-2, 20-1)では、200万回載荷後の最大残留ひびわれ幅は、
 0.05 mm であり、 1800 kg/cm^2 に対応する供試体(5-1, 10-1, 10-3,
20-2)では、 $0.05 \sim 0.08 \text{ mm}$ といくらか大きくなっている。

等モーメント区間の
表-6 ひび割れ幅測定例 (200万回載荷後)
有効プレストレス 80 kg/cm^2

荷重 (kg)	8	9	10	11	12	13	14
0(1)	23	22	71	-8	32	29	39
2	41	39	94	-5	50	45	58
4	62	61	146	-7	74	60	87
6	90	72	212	-7	100	87	121
7	101	104	245	-8	114	95	135
6	88	91	215	-6	101	85	113
4	65	62	150	-6	76	61	80
2	38	38	93	-7	49	39	56
0	27	22	73	-7	35	29	39

表-7 最大ひびわれ幅と中央点のたわみ

	最大荷重 (t)	(mm)			
		最大ひびわれ幅 処女載荷時	最大ひびわれ幅 200万回後	中央点のたわみ 処女載荷時	中央点のたわみ 200万回後
0-1	6	250	341	600	501
0-2	3	271	346		
		80	176	250	267
		90	220		
5-1	6	185	196	509	552
		183	210		
		188	245		
10-1	7	173	249	620	607
		99	165		
		96	146	320	355
10-2	5				
		128	151	568	585
		138	189		
20-1	6	101	169	387	405
		69	156		
		186	213		
20-2	7	142	248	603	628

表-5 プレストレス量の減少

試験体	打設日	緊張日	測定期間	鉄筋				PC鋼棒
				①	②	③	④	
0-1	6/5	—	6/7 ~ 7/26	241×10^6	272×10^6	273×10^6	242×10^6	0.079
0-2	6/5	—	6/7 ~ 7/10	176 "	161 "	173 "	203 "	0.066
5-1	6/3	6/4	6/4 ~ 8/1	356 "	365 "	404 "	411 "	0.134
10-1	6/3	6/4	6/4 ~ 7/3	302 "	296 "	296 "	385 "	0.109
10-2	6/3	6/4	6/4 ~ 6/7	140 "	140 "	131 "	154 "	0.050
10-3	6/5	6/7	6/7 ~ 6/25	161 "	180 "	187 "	193 "	0.063
20-1	6/5	6/7	6/7 ~ 8/9	409 "	422 "	411 "	437 "	0.142
20-2	6/3	6/4	6/4 ~ 8/21	395 "	443 "	476 "	522 "	0.170

$$\times \frac{④}{3076 \times 10^{-6}}$$

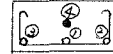


図-3 ひび割れ幅と鉄筋応力一例 (供試体 No. 5-1)

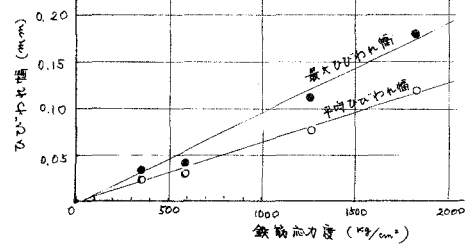


図-4 鉄筋応力度と最大ひびわれ幅の関係
(処女載荷時)

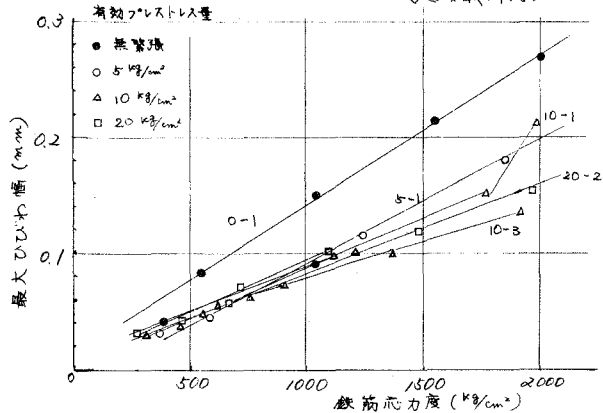
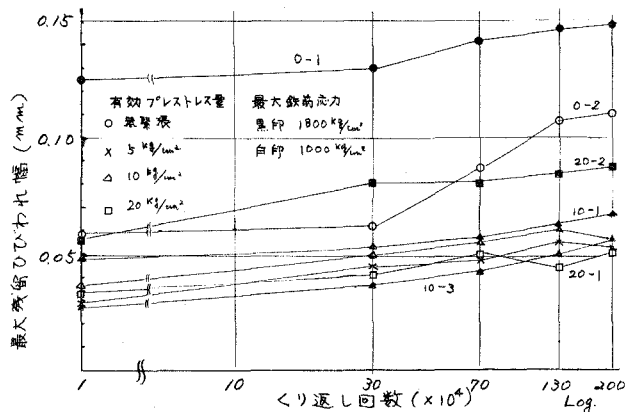


図-5 疲労試験時、最大残留ひびわれ幅



一方RCスラブでは、鉄筋応力度 1800 kg/cm^2 で最大荷重を設定した供試体(0-1)では、 0.15 mm 、 1000 kg/cm^2 とした供試体では 0.11 mm となり、処女載荷時の最大ひびわれ幅 0.09 mm より大きく、30万回後急に大きくなることかわかる。これは疲労によりコンクリートの付着力が減少するためであろうと思われる。

これらの結果、RCスラブのひびわれを鉄筋応力度で制御することはむずかしい。

3-4 たわみについて

図-6は処女載荷時における荷重と中央点のたわみを示したものである。

表-7は最大荷重時の中央点のたわみを処女載荷時と、200万回載荷後と比較したもので、200万回後のたわみは、残留たわみを除いたものである。供試体0-1で200万回後の方が値が小さいのは、残留たわみが大きいため起きたものである。

3-5 PC鋼棒および鉄筋のひずみについて

表-8は最大荷重時のPC鋼棒および鉄筋のひずみの測定から応力度を換算してまとめたものである。200万回後の値が大きいのは残留ひずみが大きいからである。この測定から全般的に処女荷重によって生じた残留ひずみが著しく、ひびわれ発生とともに一度引き抜けた鉄筋は除荷後も完全にもどらず引張力が残存し、その後繰り返し回数が増しても初期の残留ひずみに比較してそれほど増加していないことがわかった。

図-6 載荷荷重と中央点のたわみ

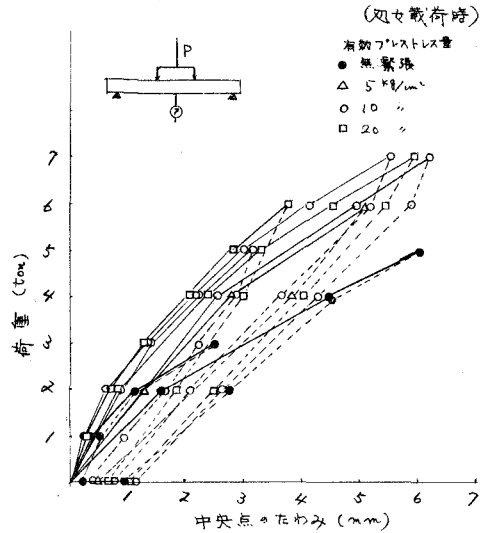


表-8 最大荷重時の鋼棒応力度増加し鉄筋応力度

供試体 No.	荷重 (ton)	PC鋼棒応力度増加 ΔP (kg/cm^2)		鉄筋応力度 σ_s (kg/cm^2)		
		処女載荷	200万回後	処女載荷①	200万回後②	②-①
0-1	6	660	640	1995	2667	0.33
0-2	3	280	300	998	1743	0.74
5-1	6	628	580	1638	2100	0.28
10-1	7	512	472	2356	2671	0.13
10-2	5	174	132	1109	1654	0.49
10-3	7	394	366	1928	2333	0.21
20-1	6	300	244	1071	1533	0.43
20-2	7	444	418	1974	2594	0.31

4. 東北新幹線用PRC軌道スラブの設計方法について

東北新幹線ではひびわれを制御するために、PRCスラブを使用するか設計の考え方について述べる。この設計方法は猪股俊司博士のⅢ種PC部材設計法に基づいている。⁽¹⁾

(1) 軸重12.4t(静止軸重 $\times 1.3$)が周期的に作用する状態でコンクリートに引張が生じないという条件を満足するために必要なプレストレス量がわすなわちPC緊張材断面積を求める。PC緊張材引張力損失に加えて、鉄筋の拘束による影響も考慮する。

(2) 軸重25.5t(車輪のフラット、軌条の磨耗等を考慮した)がたまたまに作用する状態で、発生するひびわれ幅を 0.1 mm 以下(静的載荷で)となるようにするのに必要な異形鉄筋断面積を定める。

有効プレストレス量を 10 kg/cm^2 以上としている。これは、試験からは 5 kg/cm^2 でも十分有効であると認められるが、プレストレス量の減少がかなり大きくなっている。このように規定した。

参考文献：猪股俊司：『Ⅲ種プレストレスコンクリート部材設計法』プレストレスコンクリート Vol.17 No.3 1975年6月