

プレストレストコンクリート部材断面急変部のひびわれおよび破壊挙動について

塩屋俊幸
岡田武二

§ 1. はじめに

プレストレストコンクリート(PC)構造は鉄筋コンクリート(RC)構造に比べ、構造物重量の軽減化、スパンの長大化等の点で多くの利点を持っていることから、その発展は目覚しく、現在土木建築構造のほとんどの分野で用いられている。最近ではLNGタンク、原子炉格納容器、海洋構造物などの分野への応用も活発になりつつあり、将来においてもその応用範囲はますます広がってゆくものと思われる。

RCおよびPC構造の設計上の概念も、この十数年に飛躍的ともいえる発展を示してきている。従来は、コンクリートに引張応力が生じないことをもってPCの第1条件とし、RCとは全く異質の構造であるという考え方が一般化していた。しかし、最近ではフルプレストレスのPCとRCとは同じ構造用補強コンクリートであって、それぞれコンクリート構造の両極端に位置するものであり、両者間にはプレストレスの程度によって中間的な構造(PRC)が存在するという認識が一般的になりつつある。この考え方は、限界状態設計法と呼ばれ、現在最も進んだ設計法であり、CEB-FIPによって体系化¹⁾され、各国の基準にも取り入れられつつある。

この限界状態設計法に関する研究は近年ますます盛んとなっているが、PCあるいはPRC構造では、必然的に荷重の集中や形状の変化による応力集中箇所が存在するにもかかわらず、これに対する的確な設計法が示されていない場合が多い。現状の応力集中箇所に対する設計法としては、定量的な値が与えられていない場合は用心鉄筋が配置され、有限要素法等によって応力状態が明らかにされた場合は許容応力度法的な取り扱いがなされてきており、ひびわれ発生以後のひびわれ進展状況、変形性能についての検討はほとんどなされていない。

このような応力集中箇所も限界状態設計法で設計できるようにするべきであり、本報は、種々の応力集中のうち断面変化のある部材が曲げを受けた場合について、実

験²⁾と2次元非線形有限要素法による解析³⁾を行ない、ひびわれ幅に対する鉄筋の補強効果、ひびわれ幅に及ぼす変断面の角度の影響等について調べたものである。

§ 2. 実験

2.1 試験体

2.1.1 試験体の形状寸法、鉄筋配置

試験体の設計は、土木学会「プレストレストコンクリート設計施工指針(昭和36年改訂)」に従って行なった。試験体の寸法、鋼材配置、載荷位置を図-1に示す。

2.1.2 試験体の種類

補強方法、試験温度を変えて、4ケース各2体、計8体の実験を行なった。試験体の種類を表-1に示す。

試験温度は、LNG地下式貯槽を対象として-70℃一定温度を1種類選んだ。

2.1.3 使用材料

試験体に用いた材料を表-2に示す。

2.1.4 コンクリートの配合と打設

コンクリートの配合を表-3に示す。試験体は打設後2日で脱型し、その後プレストレス導入(材令28日)まで水中養生した。プレストレス導入に3日ほど要し、その後試験時(材令90日)まで水中養生した。各材令におけるコンクリートの強度、弾性係数を示すと表-4のと

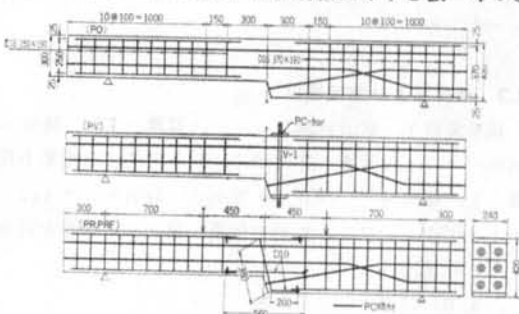


図-1 試験体の寸法、鋼材配置、載荷位置

試験体記号	試験温度	ハンチ角	σ_{28} (kg/cm ²)	補強	試験体本数
PO	常温 (20℃)	80°	400	なし	2
PV				鉛直プレストレスによる補強 ($P_0=21$ ton)	2
PR				鉄筋 (D10) による補強	2
PRF	極低温(-70℃)			"	2

表-1 試験体の種類

セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.16
細骨材	鬼怒川・木更津産	比重 2.60, 粗粒率 2.77
粗骨材	鬼怒川・青梅産	比重 2.64, 粗粒率 6.80
PC鋼線	神鋼鋼線KK製	1T 15.2 Unbond Cable
鉄筋	SD35・D10	
PC鋼棒	B種1号 ϕ 23mm	
定着具	CCL・シングル・ストランドシステム	

表-2 使用材料

σ_{28} (kg/cm ²)	α_{max} (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	W	C	S	G
					(kg/m ³)		
400	25	8~12	38	152	400	642	1159

表-3 コンクリートの配合

試験体記号	圧縮強度(kg/cm ²)			引張強度(kg/cm ²)			曲げ強度(kg/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^5$ kg/cm ²)	ポアソン比
	7日	28日	試験時	7日	28日	試験時			
PO,PV	274	398	452	21.0	27.3	33.4	—	2.78	0.18
PR	336	418	492	29.4	31.6	31.9	44.6	2.81	0.19
PRF	—	—	959	—	—	61.2	129.6	3.36	0.24

* : -70℃ 極低温下試験

表-4 コンクリートの力学的性質

おりである。

2.1.5 プレストレス導入

載荷試験時までにクリープ、レラクセーションを終らせるため、材令28日で予備導入を行ない、試験直前に再導入を行なった。プレストレスは端部で約 40 ton、中間定着部で約 16 ton 導入した。平均プレストレスは約 56 kg/cm² である。

2.2 載荷および測定項目

載荷装置を、常温試験については写真-1に、極低温試験については写真-2に示す。載荷方法は2点集中荷重とし、載荷スパンは0.9mである。載荷サイクルは、第1サイクルをひびわれ発生荷重、第2サイクルを破壊までとした。

測定項目は以下に示すとおりである。

- 1) コンクリート表面ひずみ(ワイヤストレーンゲージ)

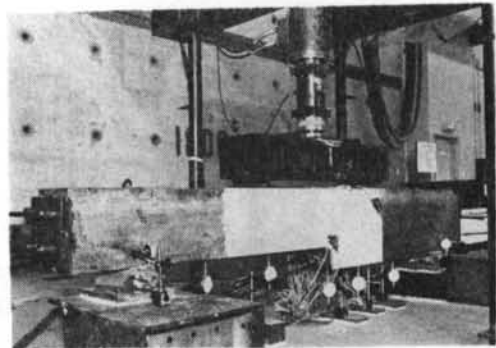


写真-1 載荷装置 (常温)

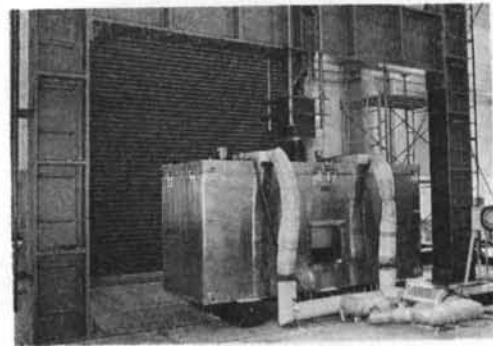


写真-2 載荷装置 (極低温)

- 2) 鉄筋およびPC鋼材ひずみ(ワイヤストレーンゲージ)
- 3) 曲げ変形 (電気式変位計)
- 4) PC定着端部力 (ロードセル)
- 5) ひびわれ幅 (クラックルーペおよび π 型変位計)

2.3 実験結果と考察

主な実験結果を表-5に示す。

2.3.1 ひびわれ状況

図-2 (a)は、無補強試験体 (PO) のひびわれ図である。隅角部のひびわれ発生角度は材軸から約 55° で、後述の弾性解析結果と良く一致している。初ひびわれ発生後は、桁高の大きい方へ材軸に沿うようにひびわれが伸長する。ある程度ひびわれが伸長した後、隅角部より5 cmほど離れた所から初期ひびわれにほぼ直角にひびわれ

試験体	材令 日	圧縮強度 kg/cm ²	弾性係数 10kg/cm ²	ポアソン比	ひびわれ発生 モーメント ton・m	ひびわれ幅 発生モーメント				破壊 モーメント ton・m
						0.1mm	0.2mm	0.3mm	0.5mm	
						ton・m	ton・m	ton・m	ton・m	
PO-1	105	452	2.78	0.175	3.47	4.00	4.55	4.90	5.50	7.18
PO-2	92	452	2.78	0.175	—	—	—	—	—	5.95*
PV-1	108	452	2.78	0.175	3.85	3.90	4.60	4.80	5.20	6.70
PV-2	113	452	2.78	0.175	3.68	3.90	4.50	4.70	5.05	6.67
PR-1	118	492	2.81	0.188	3.15	4.00	5.00	5.70	6.30	7.69
PR-2	121	492	2.81	0.188	4.03	4.00	5.00	5.60	6.30	7.53
PRF-1	126	959	3.36	0.237	5.60	5.70	7.20	7.80	8.60	13.48
PRF-2	120	959	3.36	0.237	4.90	5.60	6.70	7.20	7.80	13.65

*) PO-2 試験体はプレストレス導入前に破損し、載荷時は破損断面で破壊した。したがって、他の試験体との比較は無意味であるが、参考として結果を記載した

表-5 実験結果一覧

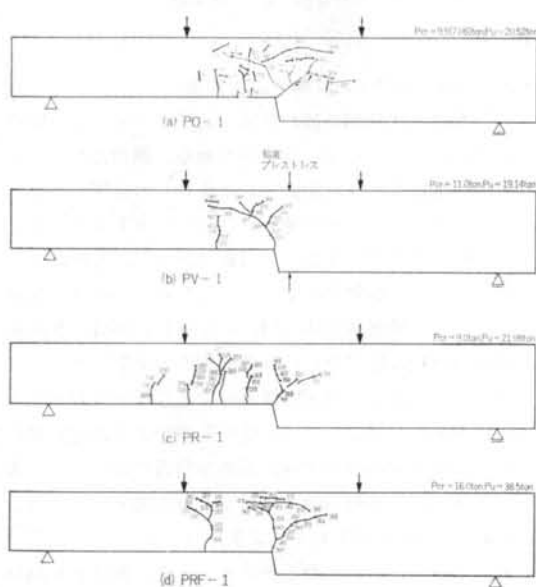


図-2 ひびわれ発生状況

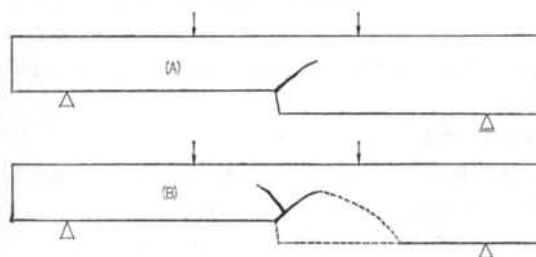


図-3 ひびわれ進行に伴う形状変化の模式図

が入る。これは図-3に示すように、初期ひびわれが(a)図のように入るとその後の試験体は(b)図のように、あたかも隅角部の向きが変わったようになるためである。以後は、このひびわれが優勢となり破壊(上縁コンクリー

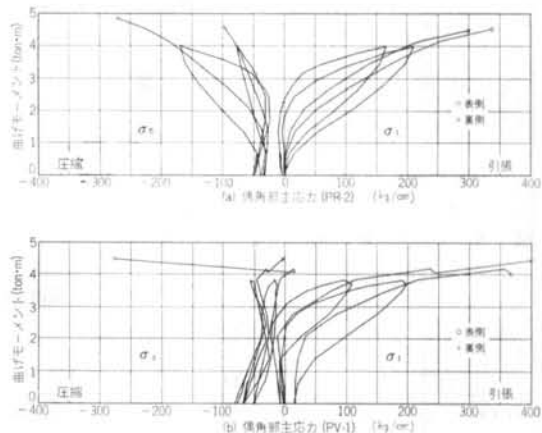


図-4 鉛直プレストレスの有無による隅角部主応力の差(ト部の圧壊)に至る。

図-2 (b)は、鉛直プレストレス補強試験体 (PV) の場合である。ひびわれはプレストレスのない方、つまり桁高の小さい方へ材軸に沿うように伸長する。

図-2 (c)は、鉄筋補強試験体 (PR) の場合である。ひびわれ発生荷重、角度とも無補強の場合と同じであるが、隅角部での著しいひびわれの伸長は見られない。

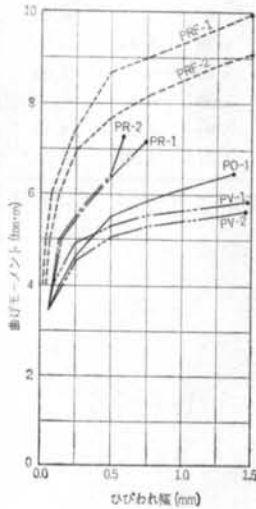
図-2 (d)は、極低温下における補強試験体 (PRF) の場合である。極低温下では、コンクリートの各種強度が著しく大きくなるので、鉄筋比があたかも小さくなったようになり、常温下における補強試験体と無補強試験体の中間のようなひびわれ性状を示す。

2.3.2 隅角部ひずみ測定結果

図-4は、隅角部に貼った3方向ひずみゲージ値から PR, PV について主応力を求めた例である。PRは、PO, PRF とほぼ同じ傾向であり、 σ_1 が初め少し圧縮になり、モーメントが大きくなると引張方向に徐々に大

試験体	PO		PR		PV		PRF	
	1	2	1	2	1	2	1	2
σ_1 が0となるモーメント (ton·m)	1.15	—	1.70	2.08	2.70	2.63	2.74	2.44
	Av.		1.64		2.67		2.59	

表一六 主応力 σ_1 が0となるモーメント



図一五 ひびわれ幅と曲げモーメントの関係

試験体	ひびわれ発生モーメント M_{cr} (ton·m)			実験値と計算値 の比較	
	実験値 M_r	計算値		M_r/M_1	M_r/M_2
		$\sigma_1 = \sigma_t$ M_1	$\sigma_1 = \sigma_b$ M_2		
PO-1	3.47	2.2	3.1	0.63	0.89
PR-1	3.15	2.2	3.1	0.70	0.98
PR-2	4.03	2.2	3.1	0.55	0.77
PV-1	3.85	2.5	3.5	0.65	0.91
PV-2	3.68	2.5	3.5	0.68	0.95
Av.	—	—	—	0.64	0.90
PRF-1	5.60	3.5	4.9	0.63	0.88
PRF-2	4.90	3.5	4.9	0.71	1.00
Av.	—	—	—	0.67	0.94
Av.	—	—	—	0.65	0.92

σ_t : コンクリートの引張強度
 σ_b : コンクリートの曲げ強度

表一七 ひびわれ発生モーメントの比較

きくなるのに対し、PVはなかなか引張方向に向かないが、向き始めると急激に引張応力が大きくなるという違いが認められる。その結果、表一六に示すように σ_1 が0になるモーメントは、PVがかなり大きく、その割合は $2.67 \text{ t}\cdot\text{m} / 1.64 \text{ t}\cdot\text{m} = 1.63$ である。したがって、フルプレストレスングで設計する場合には、鉛直プレストレスによる補強は有効である。

試験体	破壊モーメント (ton·m) M_u			実験値との比較	
	実験値 $M_u T$	M_u	M_u'	$M_u/M_u T$	$M_u'/M_u T$
PO-1	7.18	8.71	6.97	1.21	0.97
PV-1	6.70	8.71	6.97	1.30	1.04
PV-2	6.67	8.71	6.97	1.31	1.04
PR-1	7.69	9.69	6.75	1.26	1.01
PR-2	7.53	9.69	6.75	1.29	1.03
PRF-1	13.48	13.66	10.93	1.01	0.81
PRF-2	13.65	13.66	10.93	1.00	0.80

M_u : PC 鋼材とコンクリート間に付着がある場合の破壊モーメント計算値⁴⁾

M_u' : PC 鋼材とコンクリート間に付着がない場合の破壊モーメント計算値; $M_u' = 0.8 M_u$ ⁵⁾

表一八 破壊モーメントの比較

2.3.3 隅角部ひびわれ幅の測定結果

図一五は、隅角部ひびわれ幅と曲げモーメントの関係を表すものである。隅角部のひびわれは、補強筋ならびに鉛直プレストレスの有無にかかわらず一定のモーメントで発生した。プレストレスによりひびわれ発生を抑えることは可能であるが、今回はプレストレスの向きが効果的でなかったため、このような結果になった。補強試験体(PR)のひびわれ幅は、無補強試験体(PO)に比べひびわれの増加率が非常に小さく、今回のように非常に少ない鉄筋量でもひびわれ幅を抑えるには効果的である。なお、補強筋のひずみ測定結果によれば、軸方向筋のひずみが斜め方向筋のひずみより大きく、補強筋は材軸方向に配置するのが効果的である。

2.3.4 ひびわれ発生モーメントについて

表一七は、ひびわれ発生モーメントを、弾性FEM解析において σ_1 がコンクリートの引張または曲げ強度に達したときひびわれが入ると仮定して、計算した値と比較したものである。表から、弾性FEM解による σ_1 が曲げ強度に達した場合、ひびわれが入るとしてよいようである。

2.3.5 破壊モーメントについて

表一八は、桁高30cmの一定断面部材と仮定し、破壊モーメントを常温試験体で曲げ圧縮破壊ひずみ $\epsilon_{cu} = 2.5 \times 10^{-3}$ 、極低温試験体で $\epsilon_{cu} = 3.8 \times 10^{-3}$ (測定結果) とし補強筋は降伏しているものとして計算⁴⁾した値と実験値とを比較したものである。常温試験体の場合、計算値とほぼ一致しており、極低温試験体の場合には実験値が大きく、やや安全側になるようである。破壊時の部材の釣合状態は、隅角部の有無にかかわらず一定断面部と同じ

であるから、破壊モーメントは一定断面部材と仮定してよいと考えられる。

§ 3. 有限要素法による解析

3.1 解析計画

3.1.1 解析方法⁶⁾

コンクリート材の要素は三角形ひずみ要素とした。非線形解析における構成方程式としては、主応力方向を異方性軸とするような直交異方性によるモデル⁷⁾を採用し、応力-ひずみ関係は材料の一軸応力-ひずみ関係に基づいて定めた。非線形解析法はいわゆる step-iteration 法と呼ばれるもので、1stepごとに修正Newton-Raphson 法により収束計算を行ない、step 間は荷重増分法とした。ひびわれは、主応力のうち少なくとも1つが引張の場合、主ひずみが限界ひずみを超える場合に引張主応力方向に垂直な面にひびわれが生ずる⁸⁾⁹⁾とした。ひびわれが生ずると、解放すべき弾性ひずみエネルギーは内部応力に等価な要素節点力に置換し、ひびわれ発生後の要素は発生方向の剛性を初期剛性の1/1000とした。鉄筋およびP C鋼材は棒要素とし、応力-ひずみ関係はBi-linear 型で与えた。

3.1.2 解析モデル

解析に用いた要素分割の1例を図-6に示す。

3.1.3 解析ケース一覧

解析は全16ケース行ない、内容を表-9に示す。

3.2 解析結果

3.2.1 弾性解析結果

図-7は、端部プレストレス導入による軸方向ひずみ分布を示したものである。このひずみ分布はほぼプレストレス力の分布を表わすが、桁端部に等プレストレスを導入すると桁断面が急変するためにモーメントが生じ、中間定着部近傍のプレストレス分布は等分布から逆三角分布へと変化する。図-8は主応力を示したものであるが、隅角部には圧縮応力の集中がみられ、隅角部近傍の主応力は一定断面プレストレスの約1.5倍(この値は要素の分割法によって異なる性質のものである)となっている。図-9は、中間プレストレス導入による軸方向ひずみ分布を示したものである。中間定着部にプレストレスを導入すると、定着具背面の隅角部に引張応力が生じる。図-10は主応力を示したものであるが、ひびわれの発生すると思われる α 軸は材軸から約 68° である。図-11は α 軸に沿う σ_1 分布を示したものであるが、この σ_1

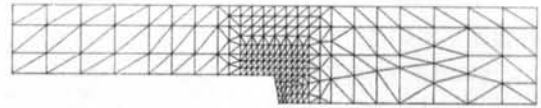


図-6 要素分割の一例 ($\theta=80^\circ$)

Case	θ ($^\circ$)	P_t (ton)	P_c (ton)	P_m (ton)	P_v (ton)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	A_s (cm^2)	$\frac{p}{100A_s}$ $\frac{1}{h_1 b}$	
弾 性 解 析	E-1	80	1	0	0	30	42	0	0	
	E-2	80	0	1	0	30	42	0	0	
	E-3	80	0	0	1	30	42	0	0	
	E-4	80	0	0	0	1	30	42	0	0
	E-5	80	40	16	10	0	30	42	0	0
非 線 形 解 析	N-1	80	40	16	0-22	0	30	42	0	0
	N-2	80	40	16	0-22	0	30	42	1.43	0.20
	N-3	80	40	16	0-22	0	30	42	2.58	0.40
	N-4	80	40	16	0-22	0	30	42	4.28	0.59
	N-5	80	40	16	0-22	0	30	42	5.70	0.79
	N-6	80	40	16	0-22	0	30	42	7.13	0.99
	N-7	0	40	0	0-22	0	30	30	0	0
	N-8	30	40	0	0-22	0	30	42	0	0
	N-9	60	40	0	0-22	0	30	42	0	0
	N-10	80	40	0	0-22	0	30	42	0	0
	N-11	90	40	0	0-22	0	30	42'	0	0

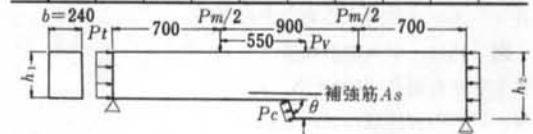


表-9 解析ケース一覧

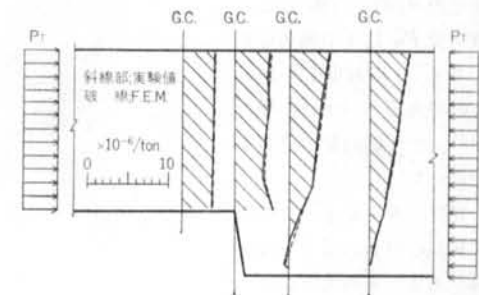


図-7 端部プレストレス導入による軸方向ひずみ分布 (Case E-1)

の総和を引張合力 T_0 と称し次式で定義すると、 $T_0=0.07P_0$ となる。

$$T_0 = t \int_0^{\alpha} \sigma_1(\alpha) d\alpha \quad (t: \text{部材厚})$$

Leonhardt¹⁰⁾ は $T_0=0.5 P_0$ 、藤井¹¹⁾ は FEM 解析に

より $T_c = 0.05 \sim 0.20 P_c$ であると報告している。Leonhardt は、引張クリープの影響も考えて $T_c = 0.5 P_c$ としたのであるがその根拠は示されておらず、プレストレス導入時は $T_c = 0.2 P_c$ として鉄筋量を算定すれば十分安全であろう。

図-12は中間定着部に鉛直方向プレストレスを導入した場合の主応力を示したものである。材軸と 90° 方向にはほぼ均等に圧縮応力が生じ、隅角部における応力集中は認められない。

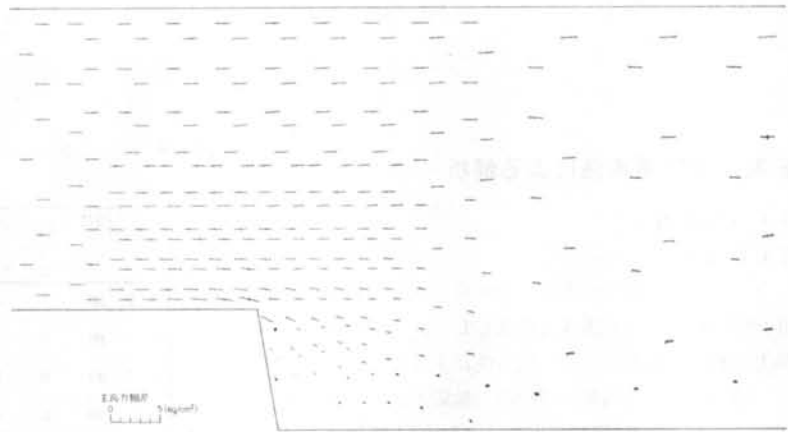


図-8 端部プレストレス ($P=1 \text{ ton}$) を受けた場合の主応力図 (Case E-1)

図-13は、中間定着部に曲げモーメントが作用した場合の主応力を示したものである。隅角部には引張応力の集中がみられ、隅角部近傍の σ_1 は一定断面線引張応力度の約 1.7 倍の値となる。

3.2.2 非線形解析結果

数値解析法、モデル化などの解析上の手法の妥当性を確認するために、実験結果と解析結果 (Case N-1, N-2) を比較した。その結果は図-14 に示すとおりで、たわみ、ひびわれ幅、コンクリートの最大曲げ圧縮ひずみ、補強鉄筋ひずみなどすべて実験結果とよく一致しており、本解析法が妥当なものであると判断される。以下各パラメータに対する考察を行なう。

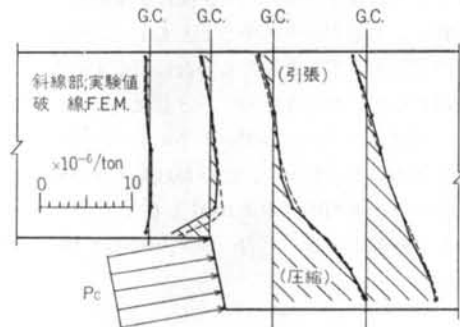


図-9 中間プレストレス導入による軸方向ひずみ分布 (Case E-2)

図-15は、隅角部の角度 θ を変化させた場合 (Case N-7 ~ N-11) の弾性域における端部プレストレス P_t による隅角部圧縮主応力 σ_2 の応力集中度、曲げ載荷重 P_m による隅角部引張主応力 σ_1 の応力集中度を示したものである。いずれの場合も $\theta \geq 60^\circ$ では応力集中度の変化は少ない。

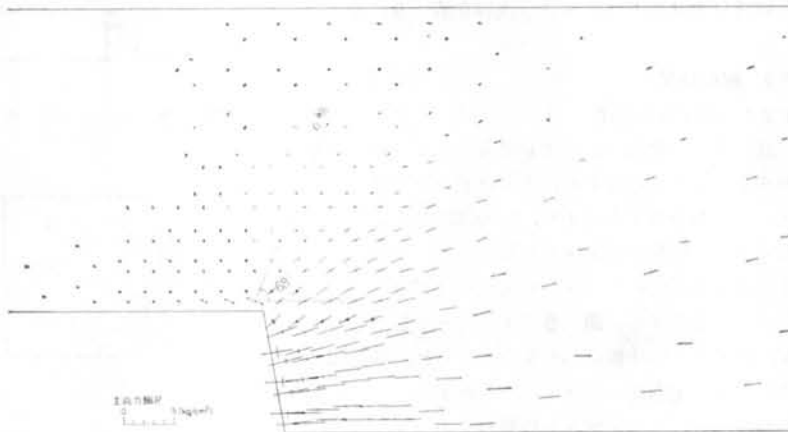


図-10 中間定着 ($P=1 \text{ ton}$) した場合の主応力図 (Case E-2)

図-16は、 θ を変化させた場合の隅角部ひびわれ幅を比較したものである。 θ の大きいほど同一モーメントでのひびわれ幅は大きくなる傾向があるが、全体の挙動にはほとんど差がなく、 θ の大小はひびわれ幅にはほとんど影響がないといえる。

図-17は、補強筋によって隅角部のひびわれ幅がどの程度制御されるかを調べたものである。隅角部のひびわ

れ幅は、中間プレストレス P_c の影響により一様断面材の場合より早く拡幅するが、破壊時に近づくとほとんど差がなくなる。補強筋はひびわれ幅が 0.1 mm 程度になるころから効果を現わしているが、これは補強筋のかぶり 3 cm であり、ひびわれ幅が 0.1 mm 以下では補強筋位

置までひびわれが伸びていないためである。Case N-2 ($p=0.2\%$) は、一定断面部材 ($\theta=0^\circ$) にひびわれの発生する曲げモーメントでの隅角部の引張合力に相当する補強筋を配置したものである。同時に、この補強筋量は $0.18P_c$ に相当する補強筋量であるが、ひびわれ幅は大幅に改善され一定断面部材とほぼ同程度のひびわれ幅となる。Case N-3~N-6 を比較すると鉄筋量が $0.40 \sim 0.99\%$ と大きくなるにもかかわらずひびわれ幅にさほどの変化はなく、図-18に示すように $p=0.4\%$ では曲げモーメント $M=5.6 \text{ ton}$ が作用した場合、桁高の小さい方の断面のひびわれが優勢となることから、本試験体の場合 $p=0.4\%$ 以上の鉄筋を配置してもひびわれ幅を制御するには有効でなく、不経済となる。

以上、中間定着部のひびわれ幅の性状は主に中間プレストレス力 P_0 の有無に左右されるのであり、3.2.1の弾性解析結果と合せて考慮すると、藤井の提案しているように P_0 に対して $T_0=0.2P_0$ に相当する鉄筋量を配置しておけば、曲げモーメントが作用した場合、一定断面部材と同程度のひびわれ幅となり、Leonhardt 提案の $T_0=0.5P_0$ はやはり過大な補強となるようである。

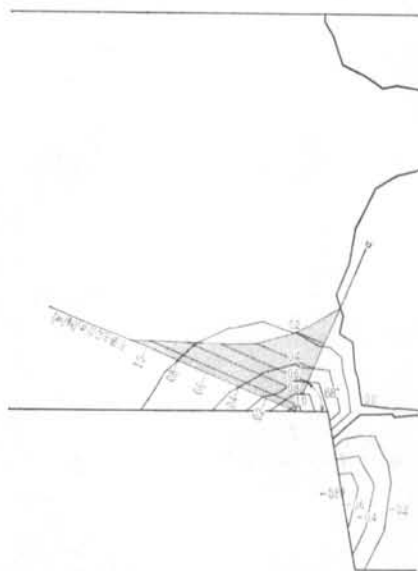


図-11 中間定着 ($P_0=1 \text{ ton}$) した場合の σ_1 分布と引張合力 (ただし、平均節点応力で表示している)

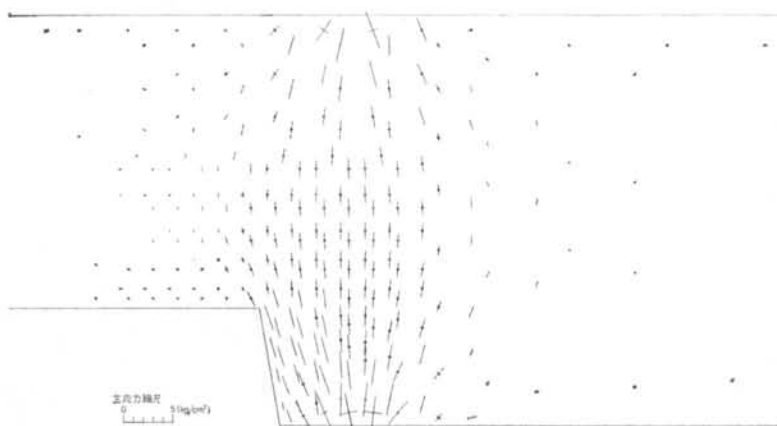


図-12 鉛直プレストレス ($P_0=1 \text{ ton}$) を受けた場合の主応力図 (Case E-3)

§ 4. 結論

断面変化のある部材が曲げを受けた場合について、

- ① PC 模型はりの常温 (20°C) における静的曲げ実験
- ② PC 模型はりの極低温 (-70°C) における静的曲げ実験
- ③ 有限要素法による弾性解析
- ④ 有限要素法による非線形解析

を行なった結果、以下のことが明らかとなった。

1) 隅角部の応力状態について

- 桁端部に等プレストレスを導入すると、桁断面が急

変するためにモーメントが生じ、中間定着部近傍のプレストレス分布は三角形から逆三角形へと急変する。また、隅角部には圧縮応力の集中が見られ、隅角部近傍の最小主応力は、隅角部の角度が $60^\circ \sim 90^\circ$ の場合、一定断面プレストレスの約 $1.45 \sim 1.50$ 倍となる。この値は要素の分割法によって異なる性質のものである。本解析では、隅角部の要素の1辺の長さを骨材の最大寸法である 25mm 程度としたが、実験結果と良く一致した。

- 中間定着部にプレストレスを導入すると、定着部背面の隅角部に引張応力が生じ、その総和はプレストレ

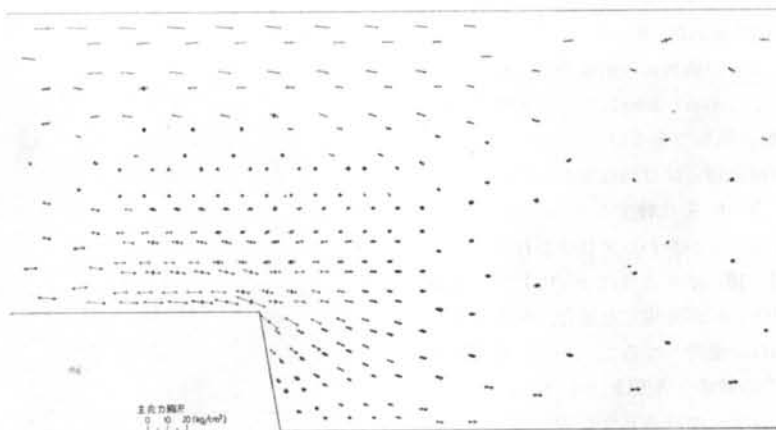


図-13 曲げ ($P=1$ ton) を受けた場合の主応力図 (Case E-4)

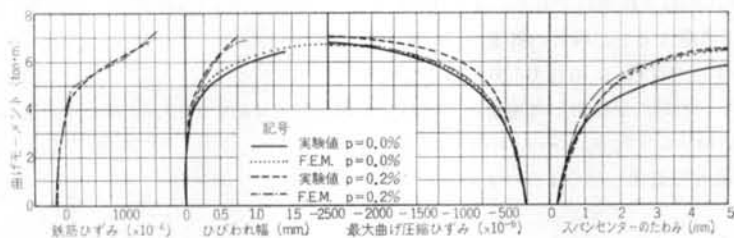


図-14 実験値と解析値の比較

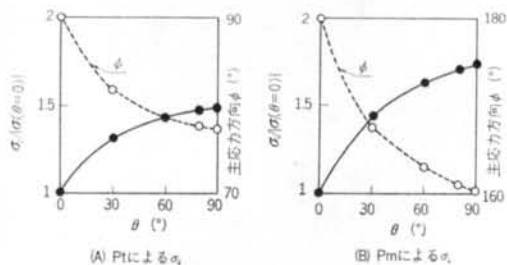


図-15 角度の変化による応力集中度

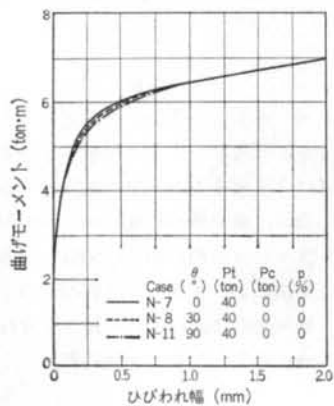


図-16 ひびわれ幅に及ぼす角度の影響

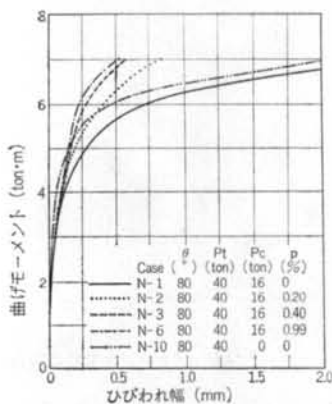


図-17 ひびわれ幅に及ぼす補強程度の影響

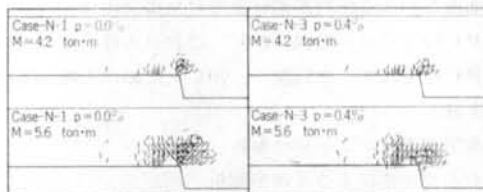


図-18 ひびわれ状況

ス力の約0.07倍である。

●中間定着部に曲げモーメントが作用すると偶角部には引張応力の集中がみられ、偶角部近傍の最大主応力は $\theta=60^\circ\sim 90^\circ$ で一定断面縁引張応力度の約1.7倍となる。

2) ひびわれ発生モーメントについて

偶角部のひびわれ発生モーメントは、FEM弾性解による最大主応力が曲げ強度に達したとき発生すると仮定して、計算することができる。

3) ひびわれ幅に対する効果

(A)変断面の角度の影響

中間プレストレス力がない場合、変断面の角度が異なると、ひびわれ発生モーメントは当然角度の小さい方が大きくなるのであるが、ひびわれ発生以後は同一曲げモーメント下でのひびわれ幅はほとんど同じである。したがって、ひびわれ幅は変断面の角度にはほとんど影響がない。

(B)鉄筋による補強効果

ひびわれ発生角度、補強筋のひずみ測定結果から、補強筋は材軸方向に配置するのが効果的である。

偶角部が無補強の場合、偶角部のひびわれ幅は一定断面部よりも大きくなる。このひびわれ幅は偶角部に補強筋を配置することにより制御できるが、必要以上に補強してもひびわれ幅制御に対する効果は少ない。

最適な補強筋量を定めるにはもっと多くのケーススタディが必要であるが、中間定着部のひびわれ性状は主に中間定着プレストレス力 P_e の有無に左右されるのであり、弾性および非線形解析結果を合せて考慮すると、 P_e に対して引張合力 $T_e=0.2P_e$ に相当する鉄筋量を配置しておけば、曲げモーメントが作用した場合、一定断面部材と同程度のひびわれ幅となる。

4) 破壊モーメントについて

中間定着部の破壊性状はすべて曲げ圧縮破壊であったが、一定断面桁としての破壊モーメント計算値とほぼ一致する。

<参考文献>

- 1) CEB/FIP: "コンクリート構造物設計施工国際指針—1970" 鹿島出版会
- 2) 塩屋俊幸, 岡田武二: "PC 中間定着部のひびわれ及び破壊モーメントについて" 土木学会第32回年次学術講演会, V—86 (昭和52年10月)
- 3) 塩屋俊幸, 岡田武二: "PC 部材断面急変部のひびわれ挙動解析" 土木学会第34回年次学術講演会, V—153 (昭和54年10月)
- 4) 岡田 清, 神山 一: "プレストレスコンクリートの設計" 国民科学社
- 5) 六車 熙: "プレストレスコンクリート" コロナ社 p.245
- 6) O.C. Zienkiewicz (吉識雅雄, 山田嘉昭監訳): "基礎工学におけるマトリックス有限要素法" 培風館
- 7) 磯畑 脩: "コンクリート構造体の直交異方性力学モデルとその適用性について" 日本建築学会論文報告集 No. 265 (1978)
- 8) 岡島達雄: "2軸応力を受けるコンクリートの破壊ひずみ" 材料 Vol. 22, No. 232 (1973)
- 9) H.B. Kupfer & K.H. Gerstle: "Behavior of Concrete under Biaxial Stresses" Proc. ASCE, Vol. 99, No. EM 4 (1973)
- 10) F. Leonhardt: "Spannbeton für die Praxis" W. Ernst (1962) p. 291
- 11) 藤井 学: "PC部材の切欠き定着部補強に関する基礎研究" 材料 Vol. 22, No. 232 (1973)

