

[2096] 機械式鉄筋継手を有する RC はり部材の挙動に関する研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学工学部)
 正会員 ○寺尾 文孝 (大成建設)
 正会員 山本 泰宏 (三菱油化エンジニアリング)
 正会員 浜田 真 (熊谷組)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の大型化・高層化・プレキャスト化に伴う、太径・異径鉄筋の需要の高まり、大きな変形能力が期待される部材端で、鉄筋を接合することの要求等により、現在、各種の機械式鉄筋継手工法が、開発・実用化されている。

ところで、継手の性能を判定するに当たっては、昭和57年に日本建築センターにおいて作成された「鉄筋継手性能判定基準(2)」があり、各種継手を、その強度・剛性・靱性・すべり量によりSA・A・B・C級に分類し、部材における使用箇所の可否を定めている。一方、継手を部材内に設けた場合の適応性を知る為に、この判定基準に基づいて、各種機械式鉄筋継手の単体実験、及び、部材実験が行われているが、継手の応力伝達機構を含め、継手単体の諸性状は、未だ充分には把握されていない。

そこで本研究は、継手単体実験により、その応力伝達機構を明らかにし、継手の諸性状を定量化すること、更にその結果を基に、断面曲げ解析を行い、部材実験結果と比較することにより、継手単体がRCはり部材に与える影響を解析的に検討することを目的とした。

2. 実験概要

2-1 単体実験

(1) 試験体

図1に試験体形状を示す。本実験に用いる継手は、高層建築物等の組立鉄筋に多く用いられ、ねじ節鉄筋と継手の、ねじ山同士の間断抵抗により応力を伝達するタイプのねじ式継手と、プレキャスト部材に多く用いられ、鉄筋の節と継手内の凹凸との空隙に充填した高強度無収縮モルタルの圧縮抵抗により応力を伝達するタイプのスリーブ式継手とした。なお、鉄筋には必ずみゲージ貼付用に7mm×5mmの溝加工を施した。

表1に試験体に与えた要因の一覧を、表2に鉄筋の材料試験結果を示す。ねじ式継手については締付量を要因として、SA級に相当するL180(締付量180kg/cm²)、A級に相当するL120(締付量120kg/cm²)、C級に

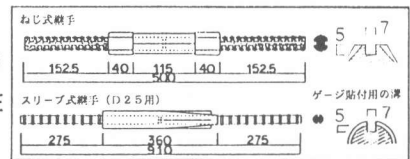


図1 試験体形状 (単体実験)

表1 試験体要因一覧 (単体実験)

試験体名	継手の種類	試験体に与えた要因	加力方法	試験体数
L180	ねじ式	SA級	一方引張	2
		締付量 180kg/cm ²	正負繰返し	3
		A級	一方引張	2
L120	ねじ式	締付量 120kg/cm ²	正負繰返し	1
		C級	一方引張	2
L60	ねじ式	締付量 60kg/cm ²	正負繰返し	3
8-35	スリーブ式	D25-SD35 鉄筋使用	一方引張	2
8-40		D25-SD40 鉄筋使用	正負繰返し	9
13-40		D41-SD40 鉄筋使用	一方引張	4
			正負繰返し	2
			一方引張	6
			正負繰返し	3

表2 材料試験結果

試験体種類	鉄筋種	σ_y (kg/cm ²)	ϵ_y ($\times 10^{-3}$)	σ_u (kg/cm ²)
ねじ式継手	D25-SD35	3740	2040	5550
	D25-SD35	4130	2250	5880
スリーブ式継手	D25-SD40	4540	2510	6600
	D41-SD40	4410	2510	6480

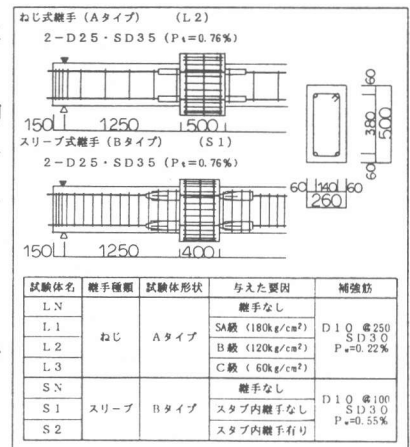


図2 試験体形状 (部材実験)

相当するL60（締付量60kg/cm²）の計3シリーズ、スリーブ式継手については鉄筋の径・材質を要因として、D25-SD35鉄筋を用いた8-35、D25-SD40鉄筋を用いた8-40、D41-SD40鉄筋を用いた13-40の計3シリーズ（何れもSA級に相当）とした。また、今回用いたモルタルの圧縮強度は、実験時で695~723kg/cm²であった。

(2)実験方法 加力は、一方向引張り载荷、及び弾塑性域正負繰返し载荷とし、継手長さに20mmずつ計40mm加えた長さを特定検長として、特定検長間の伸び・鉄筋のひずみ・鉄筋の抜け出し等を測定した。

2-2 部材実験

(1)試験体 図2に試験体形状を示す。試験体は中央に柱型スタブを有するはり型の試験体で、曲げ降伏ヒンジを形成するはり部材端に継手を設けた。実験は2シリーズに分れており、Lシリーズはねじ式継手を用いて継手の有無・締付量を要因とした4体(1)、Sシリーズはスリーブ式継手を用いて継手の有無を要因とした2体に、解析用に柱型スタブ内にも継手を設けたS2を加えた計3体である。なお、用いた継手・締付量・鉄筋は単体実験に用いたものと同様である。

(2)実験方法 図3に加力サイクル図を示す。加力は、単純ばり形式で正負交番繰返し载荷とし、支点間相対変位・継手部の変形・抜け出し等を測定した。

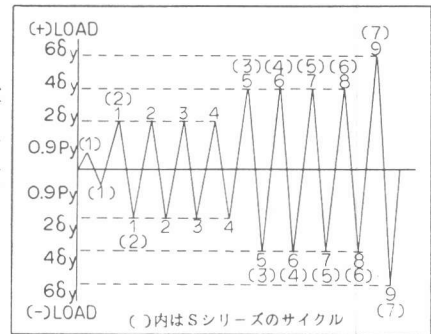


図3 加力サイクル（部材実験）

3. 実験結果・検討

3-1 単体の応力伝達機構

(1)ねじ式継手 図4にL180・L120・L60の弾塑性域正負繰返し試験の応力度(σ)—ひずみ度(ϵ)曲線を示す。ここでひずみ度は、特定検長間の伸び量を特定検長で除して求めた平均ひずみ度とした。ねじ式継手の特徴としては、応力度零点近傍のすべり性状・継手の緩みによる見掛け上の抜け出し性状がある。各要因ごとに比べて見ると、締付量が小さいもの程すべり性状が大きく、初期剛性は低くなる傾向が見られた。これらの性状は、図5に示した様に、ロックナット・カブラーナットを締付ける際、その反力として鉄筋に引張力が生じていて、その引張力が初期導入軸力として鉄筋に作用していると考えることにより説明出来る。つまり初期導入軸力以上の引張応力が鉄筋に生じた地点で、ロックナット・カブラーナット間に隙間が生じ始め、その隙間がすべり性状・初期剛性の低下の原因となっているのである。締付け時に測定した、両ナット間の境に貼付したひずみゲージの値は、 σ - ϵ 関係において、剛性が低下し始める点と一致していた。

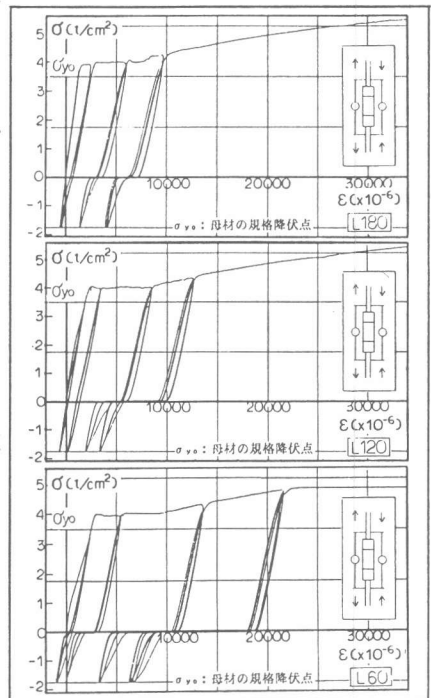


図4 応力度(σ)—ひずみ度(ϵ)曲線

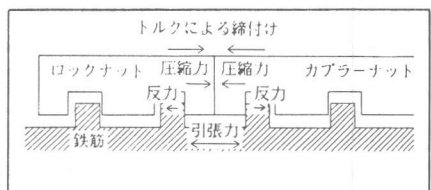


図5 ねじ式継手の締め付けメカニズム

(2)スリーブ式継手 図6に8-40・13-40の弾塑性域正負繰返し試験の $\sigma-\epsilon$ 曲線を示す。継手スリーブ式継手の特徴としては、初期剛性の段階的減少・曲線的な包絡線の形状・応力度零点近傍のすべり性状がある。これらの性状には各要因による差は見られなかった。図7に8-40のひずみ度分布(図中(a)はスリーブ表面・(b)は鉄筋のひずみ度分布)を示したが、スリーブの口許から0.5~1D埋め込んだ地点までについては、鉄筋のひずみ度がほぼ横這いになっていることから、この間のスリーブは応力をほとんど分担せずに鉄筋が伸び出しており、その先については、埋め込まれた鉄筋は、鉄筋端までのほぼ全長に渡って応力を徐々に開放し、それに伴って、スリーブは中央に近づく程応力を負担していることが分かる。これらの性状は図8に示す様な、応力伝達モデルを考えることにより説明できる。これは鉄筋にかかる引張力を、途中でモルタルを圧縮することにより、スリーブに伝えるモデルである。この場合、モルタルAはせん断力を介して応力伝達を行っており、モルタルBはせん断力・圧縮力を介して応力伝達を行っている。すなわちモルタルAの部分が早期において応力伝達を行えなくなり、鉄筋は伸び出し始め $\sigma-\epsilon$ 曲線において、初期剛性は段階的に減少して、包絡線の形状が曲線的になるのである。また、すべり性状もこの伸び出しが応力度零点近傍でスリーブ内に戻る為に生じるものと思われる。

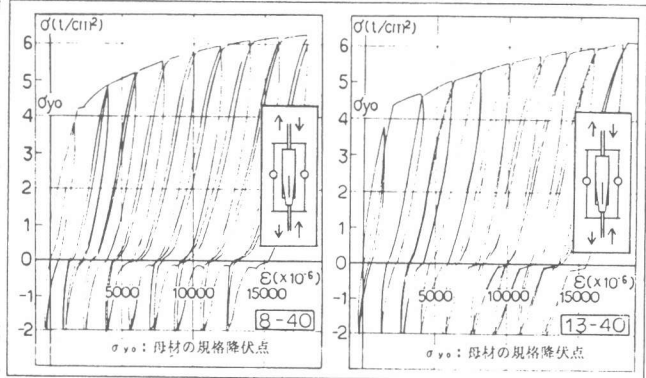


図6 応力度(σ)—ひずみ度(ϵ)曲線

3. 2単体性状の定量化 図9にねじ式継手の、図10にスリーブ式継手の平均ひずみ度(ϵ_{av})と鉄筋のひずみ度(ϵ_{se})との関係を示す。どちらの継手についても、鉄筋が降伏する以前においては、平均ひずみ度は鉄筋のひずみ度と等しい値を示すのに対して、鉄筋がひずみ硬化域に入ると、ある一定の比例関係を持っていることが分かる。そこで最小二乗法により回帰計算を行ってみると、高い相関性の基に、(1)

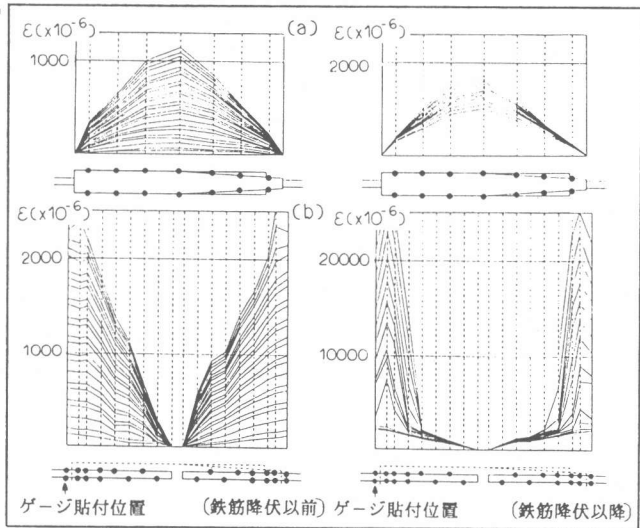


図7 ひずみ度分布(スリーブ式)

3. 2単体性状の定量化

図9にねじ式継手の、図10にスリーブ式継手の平均ひずみ度(ϵ_{av})と鉄筋のひずみ度(ϵ_{se})との関係を示す。どちらの継手についても、鉄筋が降伏する以前においては、平均ひずみ度は鉄筋のひずみ度と等しい値を示すのに対して、鉄筋がひずみ硬化域に入ると、ある一定の比例関係を持っていることが分かる。そこで最小二乗法により回帰計算を行ってみると、高い相関性の基に、(1)

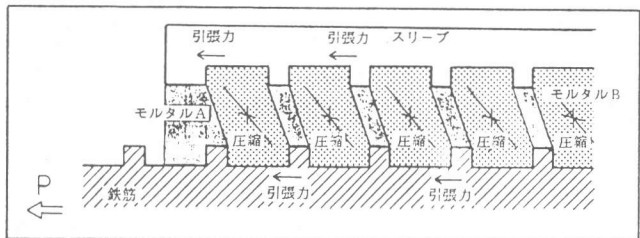


図8 応力伝達モデル(スリーブ式)

(2)式に示す様な結果が得られた。

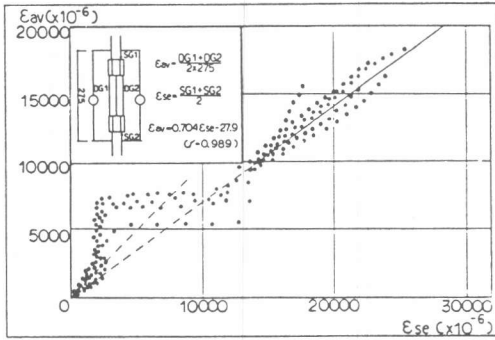


図9 平均ひずみ度(ε_{av})—鉄筋のひずみ度(ε_{se})関係

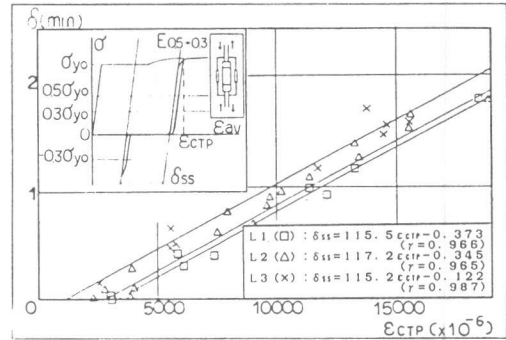


図11 すべり量(δ_{ss})—経験最大平均ひずみ度(ε_{CTP})関係

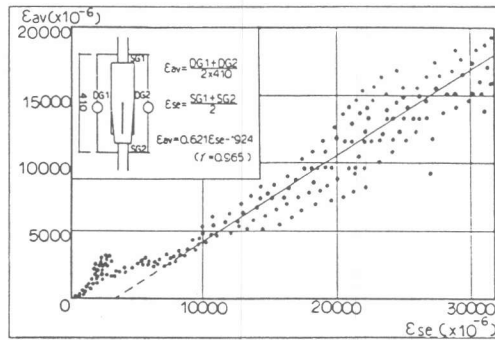


図10 平均ひずみ度(ε_{av})—鉄筋のひずみ度(ε_{se})関係

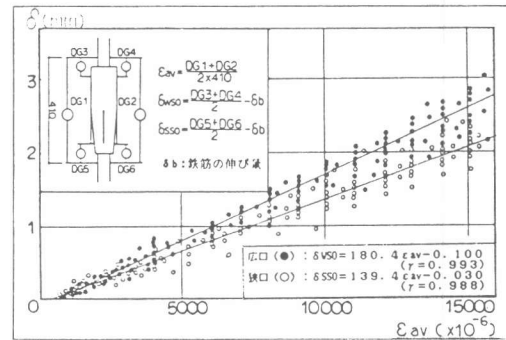


図12 抜け出し量(δ_{s0})—平均ひずみ度(ε_{av})関係

ねじ式継手 $\epsilon_{av} = 0.704 \epsilon_{se} - 27.9 \quad (\gamma = 0.989) \quad (1)式$

スリーブ式継手 $\epsilon_{av} = 0.621 \epsilon_{se} - 1924 \quad (\gamma = 0.965) \quad (2)式$

次に、ねじ式継手については、図11にすべり量(δ_{ss})と経験最大平均ひずみ度(ε_{CTP})との関係を、スリーブ式継手については、図12にスリーブ口許からの抜け出し量(δ_{s0})と平均ひずみ度(ε_{av})との関係を示す。ねじ式継手については、図11中の挿絵に示すように、すべり量を0.3σ_{yo}と0.5σ_{yo}とを結んだ割線剛性と、-0.3σ_{yo}を通る割線剛性と平行な線との間の値をもって定義し、各締付量ごとに回帰計算を行った結果、(3)~(5)式を得た。

L1(180kg/cm²) $\delta_{ss} = 115.5 \epsilon_{CTP} - 0.373 \quad (\gamma = 0.966) \quad (3)式$

L2(120kg/cm²) $\delta_{ss} = 117.2 \epsilon_{CTP} - 0.345 \quad (\gamma = 0.965) \quad (4)式$

L3(60kg/cm²) $\delta_{ss} = 115.2 \epsilon_{CTP} - 0.122 \quad (\gamma = 0.987) \quad (5)式$

この結果より明らかな様に、締付量の小さいもの程、すべり始める平均ひずみ度は小さく、その値は、初期導入軸力により生じたひずみ度とほぼ一致している。また、すべりの増加の割合には、締付量の違いによる差は見られず、このことから、すべり性状や見掛け上の抜け出し性状は、初期導入軸力によってのみ決定されていることが分かる。

スリーブ式継手については、図12中の挿絵にも示すように、両口許からの抜け出し量は、変位計による測定値から、ひずみゲージより求めた、特定検長間における継手区間外20mmずつの鉄筋の伸び量を差し引いた値を持って定義し、回帰計算を行った結果、(6)・(7)式を得た。

広口からの抜け出し $\delta_{WS0} = 180.4 \epsilon_{av} - 0.100 \quad (\gamma = 0.993) \quad (6)式$

狭口からの抜け出し $\delta_{SS0} = 139.4 \epsilon_{av} - 0.030 \quad (\gamma = 0.988) \quad (7)式$

これより、スリーブの広口と狭口とでは、抜け出し量は異なっていることが分かる。また、抜け出し始める平均ひずみ度はかなり小さく、初期剛性の段階的減少とも一致している。

表3 実験結果一覧 (部材実験)

シリーズ	試験体名	初期剛性 (t/mm)	曲げひび割れ発生荷重 (t)		曲げせん断ひび割れ発生荷重 (t)		主筋降伏荷重 (t)		曲げ終局荷重				
			+	-	+	-	+	-	実験値 (t)		*1 計算値 (t)	実験値 計算値	
									+	-		+	-
L	LN	14.8	3.8	-5.0	11.0	-14.2	21.0	-21.3	22.7	-24.6	21.71	1.05	1.13
	L1	17.4	6.1	-4.0	15.0	-16.0	22.0	-20.5	23.9	-25.0		1.10	1.15
	L2	15.4	4.0	-6.0	17.0	-14.0	21.0	-20.0	23.8	-24.9		1.10	1.15
	L3	15.4	6.0	-4.0	16.2	-13.0	22.1	-20.0	24.2	-24.7		1.11	1.14
S	SN	17.4	6.0	-4.0	13.0	-10.0	22.0	-23.0	26.8	-27.8	22.88	1.17	1.22
	S1	17.4	6.0	-4.5	11.0	-14.0	21.6	-20.0	28.7	-31.2		1.25	1.36
	S2	17.4	6.5	-5.5	13.0	-13.0	22.0	-21.0	28.2	-29.3		1.23	1.28

*1 計算値は、コンクリート締りずみ度0.35%時を仮定して、e関数法により求めた。

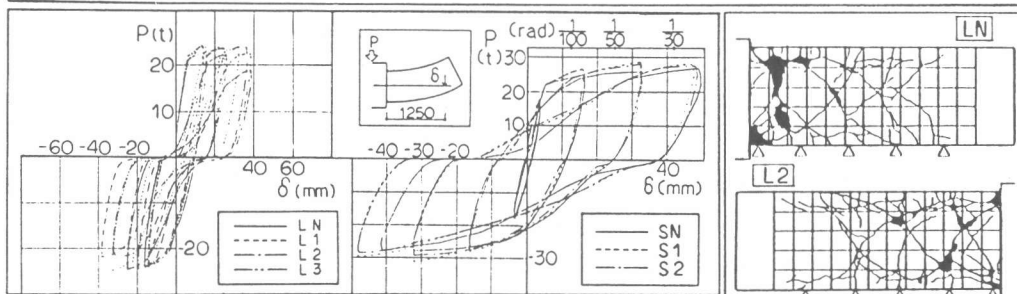


図13 荷重(P) - 変形(δ)関係 (部材実験)

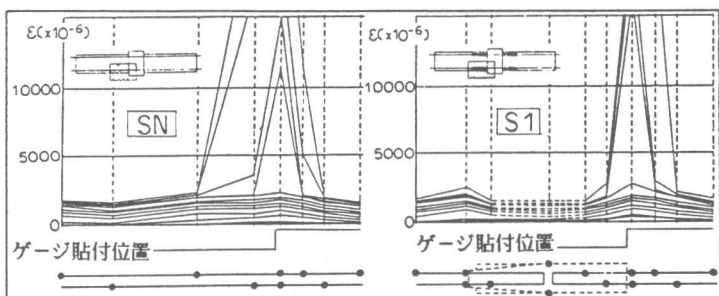


図14 主筋ひずみ度分布 (部材実験)

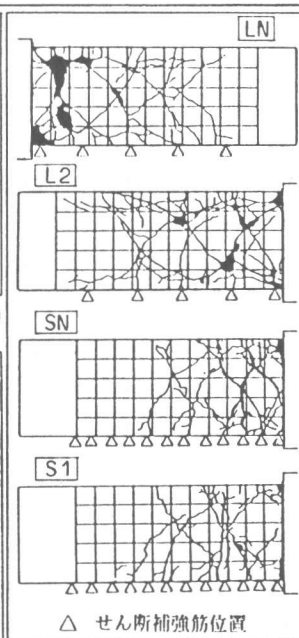


図15 最終破壊性状

3. 3部材実験結果

表3に実験結果一覧を、図13に荷重(P) - 変形(δ)関係を、図14にSNとS1について図中に示す位置のひずみ度分布を、図15に最終破壊性状を示す。ねじ・スリーブのどちらの継手を用いた場合も、変形性状・破壊性状全般において、継手の有無による差は殆ど見られなかったが、継手を設けた試験体には、荷重が反転する際にすべり性状が生じる・継手部にひび割れが発生しにくいといった局部的な違いが見られた。特にねじ式継手を用いた場合は、締付量の小さいもの程すべり量は大きく現れる、スリーブ式継手を用いた場合は、大変形時に再載荷時剛性が高くなるといった特徴を示した。

4. 断面曲げ解析

継手単体の諸性状がRCはり部材の継手断面におけるモーメント(M) - 曲率(φ)関係に及ぼす影響を把握する為に、平面保持を仮定して、図16に示す様にコンクリート・鉄筋を各要素に分割し、図17に示す包絡線にe関数法を取入れたコンクリートモデルと、図18に示すバウジングア効果を考慮した最大点指向型鉄筋モデルに、図19に示す様な継手単体のスリップモデル等

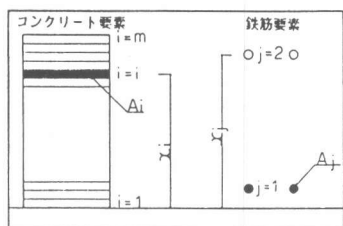


図 16 断面の要素分割

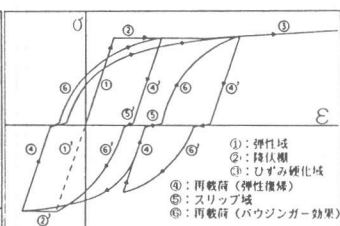


図 18 鉄筋モデル

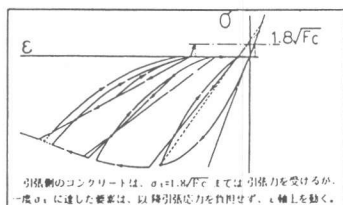


図 17 コンクリートモデル

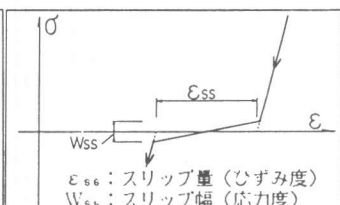


図 19 スリップモデル

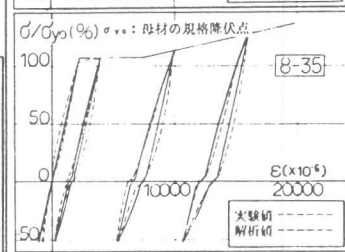
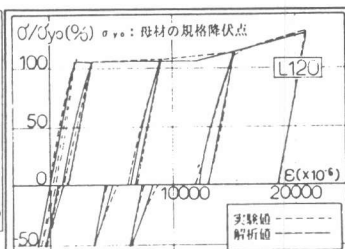


図 20 $\sigma - \epsilon$ 関係解析結果

を取入れたものを用いて、断面曲げ解析を行った。

図 20 に L120 及び 8-35 の $\sigma - \epsilon$ 曲線の解析値を示す。解析値は、すべり性状等ほぼ実験値を再現していることが分った。そこで、図 21 に RC はり部材内に継手を設けた場合の $M - \phi$ 関係における解析値と実験値比較を示す。ここにおいて実験値は、純粹に継手の影響を考察する為、ねじ式継手については柱型スタブを想定した部分実験 (1) を行うことにより、スリーブ式継手については S2 試験体を用いることにより、柱型スタブからの抜け出し変形を除外した値を用いた。どちらの試験体においても、解析値の $M - \phi$ 関係は単体の諸性状を考慮した鉄筋の $\sigma - \epsilon$ 曲線の形状に類似しており、部材実験結果をほぼ再現出来ていることが分った。

5. まとめ

本研究より以下のことが分った。

①ねじ式継手は、ねじ節鉄筋とカプラーナット内のねじ山とのせん断抵抗により応力を伝達するタイプの継手で、その特徴としては、第一にすべり性状、第二に見掛け上の抜け出し性状があり、これらの性状は、初期導入軸力により決定され、継手外端の鉄筋のひずみ度との間に高い相関性を持って比例関係にある。

②スリーブ式継手は、鉄筋の節とスリーブ内の凹凸との間に充填したモルタルの圧縮抵抗により応力を伝達するタイプの継手で、その特徴としては、第一に抜け出し性状、第二にすべり性状、第三に初期剛性の段階的減少があり、これらの性状は、スリーブから鉄筋が抜け出すことにより生じ、継手外端の鉄筋のひずみ度との間に高い相関性を持って比例関係にある。

③単体の諸性状を鉄筋の $\sigma - \epsilon$ 関係に取入れたモデルを作り、解析を行うことにより、継手単体の諸性状が RC 部材に及ぼす影響を把握することができる。

【参考文献】(1)松崎育弘・寺尾文孝「機械式鉄筋継手を有する RC はり部材の挙動に関する研究」第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集 1-17 1986. 7 P. 585~588

(2)日本建築センター「鉄筋継手性能判定基準 1982」ビルディングレター 1983年3月

【謝辞】本研究をまとめるに当たり、東京理科大学卒研生の舟山勇司君には実験等を手伝って頂きました。ここに感謝致します。

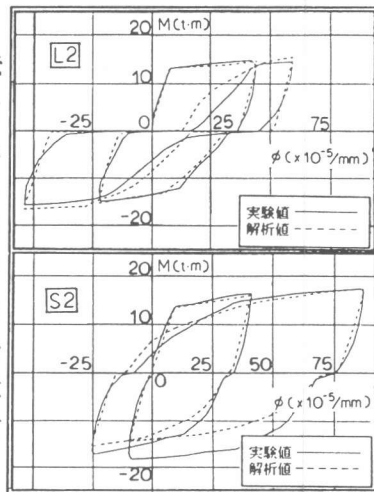


図 21 $M - \phi$ 関係解析結果