

電力中央研究所 正会員 金津 努
電力中央研究所 正会員 青柳 征夫
防衛大学校 正会員 佐藤 良一

1 まえがき

本報告は、常温および低温下において、一軸引張状態にある鉄筋コンクリート部材に関して、着者が提案した鉄筋とコンクリート間の付着特性を考慮した変形解析法の適用性について、森田らの研究²⁾で採用した付着力-ひずみ特性を用いた解析結果および着者の行った実験の結果³⁾、CEB提案式と本解析法による結果とを比較検討を加えたものである。

2 解析方法

図1中式1に示す放物線で仮定した付着力-すべり曲線を用いて、得らる付着の基礎微分方程式(式3)を解くと、式4で示さるようになり、任意断面における相対すべり量 δ_x が解析解の形で導かれる。

$$\frac{d^2 \delta_x}{dx^2} = A(2s_x - s_x^2) \quad (3) \quad \delta_{\max}; \tau_x = \tau_{\max} \text{の時の相対すべり量}$$

$$A = \frac{1+n \cdot p \cdot 4 \tau_{\max}}{\delta_{\max} d_s E_s} \quad (4) \quad d_s: \text{鉄筋径} \\ s_x: \delta_x / \delta_{\max}$$

$$s_x = \tilde{m} \cdot \sinh(\sqrt{2A} \cdot x) + 2\tilde{n} \{4 \sinh^2(\sqrt{2A} \cdot x / 2) - \sinh^2(\sqrt{2A} \cdot x)\} \quad (5)$$

$$\tilde{m} = (1+n \cdot p) / (\sqrt{2A} \cdot \delta_{\max}) \{E_s^I - [n \cdot p / (\sqrt{2A} \cdot \delta_{\max})] E_s^{\text{II}}\} \quad (6)$$

$$\tilde{n} = \frac{(1+n \cdot p) \cosh(\sqrt{2A} \cdot a) E_s^I - [n \cdot p \cosh(\sqrt{2A} \cdot a + 1)] E_s^{\text{II}}}{2 / \sqrt{2A} \cdot \delta_{\max} [\sinh(2 / \sqrt{2A} \cdot a) - 2 \sinh(\sqrt{2A} \cdot a)]} \quad (7)$$

E_s^I, E_s^{II} : ひびわれ中央, ひびわれ断面鉄筋ひずみ ϵ_i ; ひびわれ間隔の1/2の値

森田らの研究では、付着力-すべり曲線として、図1中式2に示す曲線を採用し、付着基礎微分方程式に数分求積法を適用して計算を行ない、付着力分布を求めたものである。

3 本解析結果に関する考察

試験体は、付着特性に顕著な影響を与える鉄筋径とパラメータとし(D10, D13, D16, D19)これらの鉄筋を2.46本使用して鉄筋比11.4%, 1.71%, 2.30%, 3.05%, 3.18%を変えて、常温および低温(-60℃)で載荷試験を行った。

表1は常温の試験体について、鉄筋応力が許容、降伏、各時点におけるひびわれ幅、ひびわれ間隔を示したものである。解析結果はひびわれ幅、間隔とも相当に過大評価するが、鉄筋径、鉄筋比によるひびわれ性状の相違に注目すると、実験結果の定性的傾向をよく表わしている。良好な定量評価とするために本解析法が有する問題点としてはひびわれ幅: mm ひびわれ間隔: cm 数式的に得らる解であるため、実際のひびわれ現象に忠実な解とは若干の相違があること、および付着力-すべり曲線の特性値を採用する場合、鉄筋のかぶりの影響を含めてどのように評価するかという点である。

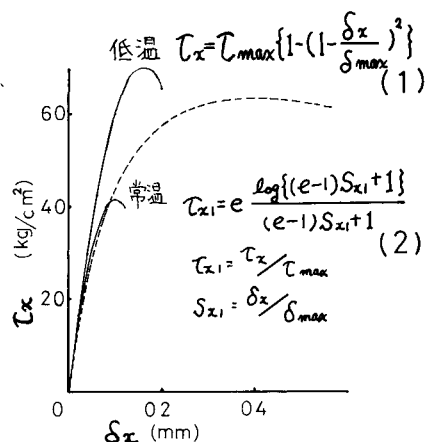


図1 付着力-すべり関係

表1 ひびわれ幅、ひびわれ間隔の比較(常温)

試験体	計算方法	鉄筋応力	ひびわれ幅	ひびわれ間隔
6D10 (1.71%)	実験値	許容	0.064	9.7
	CEB	許容	0.064	11.2
	本解析	許容	0.170	36.2
	実験値	降伏	0.200	8.2
	CEB	降伏	0.200	11.2
	本解析	降伏	0.324	20.0
6D13 (3.05%)	実験値	許容	0.070	8.2
	CEB	許容	0.078	10.3
	本解析	許容	0.173	22.7
	実験値	降伏	0.230	7.9
	CEB	降伏	0.199	10.3
	本解析	降伏	0.330	18.7
2D19 (2.30%)	実験値	許容	0.172	19.5
	CEB	許容	0.127	18.9
	本解析	許容	0.251	35.6
	実験値	降伏	0.410	16.5
	CEB	降伏	0.360	18.9
	本解析	降伏	0.452	23.6

図2.3には6D13・2D19の試験体に関して、剛性残存率(ある荷重段階での平均剛性を全断面有効時の剛性で除いたもの)と鉄筋応力度の関係を示した。常温の場合、本解析結果および他の計算結果とも実験結果と非常によく一致している。しかし、図4に示す低温の場合には、定性的には一致するが相当過小に評価する。そこで、低温下における鉄筋とコンクリート間の付着特性について考えると、実際には、本解析に適用した τ_{max} 、 δ_{max} の値以上になっていることが考えられる。ちなみに、著者らが行った低温下での曲げ付着試験の結果から得られた $\tau_{max}=180\text{ kg/cm}^2$ の値を適用し、 δ_{max} をそのまゝにして解析を行なうと、図4の△印が示すように、実験結果とよく一致することが認められた。

このように、低温下における付着応力-すべり特性、コンクリートの引張りすみ特性、ひびわれ発生条件などの材料特性が剛性の解析結果に大きく影響することが明らかになったので、これらの低温下における特性値について、実験的に詳細な検討を加える必要がある。

図5には、本解析より得られた部材軸方向の鉄筋応力分布を示す。ひびわれ断面近傍での応力分布が実際とは若干異なっているが、良好な解析結果といえよう。

4 あとがき

本解析方法は、任意断面における相対すべり量が解析解の形で得られるという利点を有しており、実験結果との比較から妥当性のあることも示された。しかし、より実際の鉄筋コンクリート引張部材の挙動に近い評価を与えるには、解析上の課題としては、実際のひびわれ現象に忠実に考え、付着の破壊現象等を導入することであり、材料特性の面からは、常温・低温下での付着応力-すべり特性、コンクリートの引張りすみ等を実験的に詳細に検討することである。現在、この種の実験を計画するとともに解析法の改良も検討している。

参考文献 1)青柳 佐藤; 低温下における鉄筋コンクリート部材の変形とひびわれ性状、1978年土木技術年報 2)元寺 森田; 鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究、1967年建築学会論文報告集1.24月 3)金津 青柳 佐藤; 低温下における鉄筋コンクリート部材のひびわれ性状、1977年土木学会年次講演集 4)山田 青柳 佐藤; 鉄筋コンクリート曲げ部材の鉄筋ひずみ分布の実測とその考察、1977年土木学会年次講演集

1978年土木技術年報 2)元寺 森田; 鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究、1967年建築学会論文報告集1.24月 3)金津 青柳 佐藤; 低温下における鉄筋コンクリート部材のひびわれ性状、1977年土木学会年次講演集 4)山田 青柳 佐藤; 鉄筋コンクリート曲げ部材の鉄筋ひずみ分布の実測とその考察、1977年土木学会年次講演集

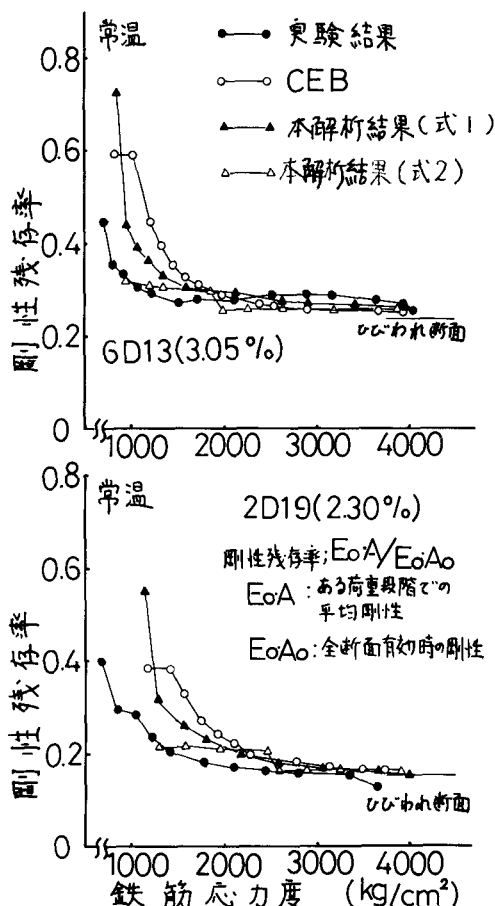


図2.3 剛性残存率と鉄筋応力度の関係

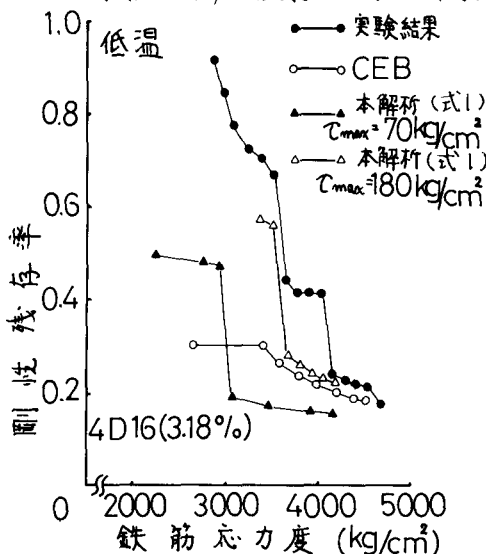


図4 剛性残存率と鉄筋応力度の関係