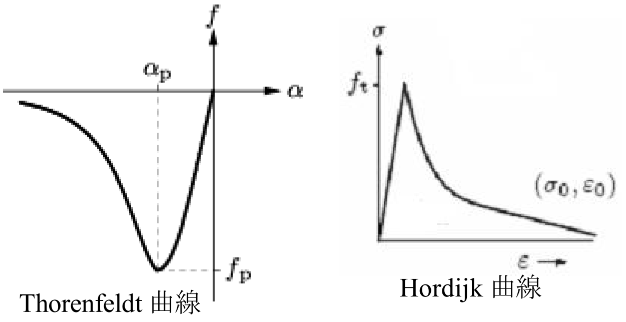
軸力と交番ねじりを受けるPC部材の解析検討

早稲田大学　　学生会員　○何　海明
早稲田大学　　フェロー会員　　清宮　理

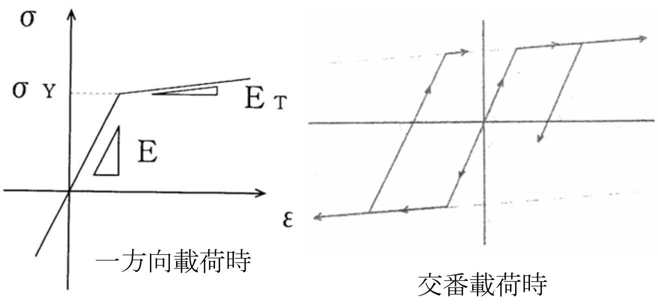
１．はじめに　地震，風，波浪などにより交番ねじりモーメントを受けるRC，PC部材の力学挙動については，研究の歴史が浅く，従来の研究の多くは実験的な報告にとどまっている[1)]．交番ねじりモーメントを受けるRC，PC部材の力学特性を解析的にとらえることは，耐震設計などに必要となる．そこで，本研究では，以前実行した交番ねじり載荷実験[2)]の供試体を対象に，各材料の非線形，正負交番載荷時の各材料の履歴特性を考慮した3次元有限要素解析を行い，実験結果との比較検討を行った．

２．解析方法

２．１　一方向載荷時の材料モデル　静的な一方向ねじりモーメントを受けるPC部材の解析に関しては，さまざまな解析方法が提案されている．コンクリート及び鉄筋の材料モデルについても多く提案され，一部はすでに汎用有限要素法プログラムに組み込まれており，解析の精度，その実用性は高い．一方向載荷時のコンクリートの応力－ひずみ関係として，**図－1**に示すThorenfeldtらが提案した圧縮応力－ひずみ関係とHordijkが提案した引張応力－ひずみモデルを用いた．軸方向鉄筋及びスターラップの平均応力－平均ひずみ関係は，**図－2**に示すように降伏強度に達するまではヤング係数Eの弾性挙動をとり，それ以降はヤング係数の1/100の剛性E_Tで直線的に応力が増加していくバイリニアの形に定義し，Von misesの降伏基準を用いた．PC鋼棒はねじりモーメントによる生じた応力及びひずみが今回の実験では小さく，降伏に至らなかったため，弾性材料とした．

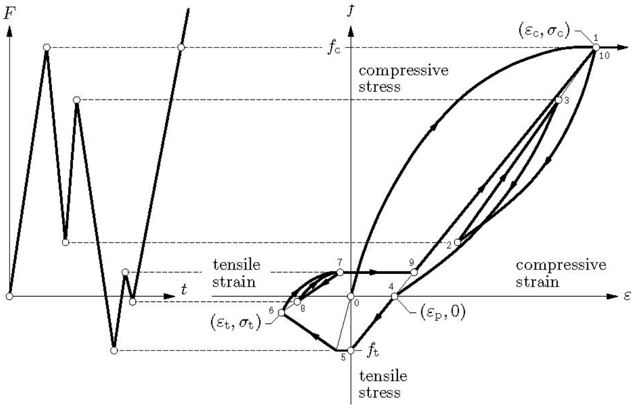


図－1　コンクリートの応力－ひずみ関係



図－2　鉄筋の応力－ひずみ関係

２．２　交番載荷時の材料モデル　交番ねじりモーメントを受けるPC部材の解析に関しては，載荷時，除荷時そして再載荷時の応力－ひずみ関係の履歴特性を考慮しなければならないし，また，材料の圧縮ゾーンから引張ゾーン或いは逆の引張ゾーンから圧縮ゾーンに入るときのルートも考慮する必要がある．本解析では，前川らが提案したコンクリートの履歴構成則と全体ひずみ理論に基づいたひび割れモデルを組み合わせたモデルを用いた．**図－3**にコンクリートの履歴構成則の一例として示す．除荷及び再載荷時における，鉄筋の平均応力と平均ひずみの関係は，一方向載荷時のモデルを基本として**図－2**に示すように，鉄筋単体の弾性係数と等しい傾きの直線で表わされるものとした．



図－3　コンクリートの引張－圧縮間の履歴特性

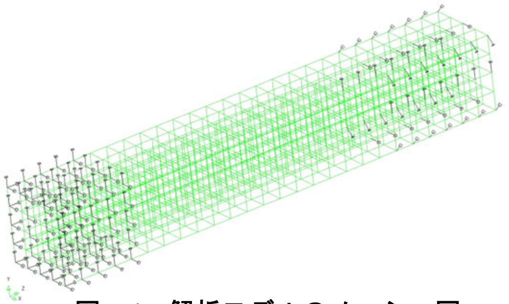
２．３　解析モデル　本解析では，全供試体を対象（E-1~E-6）に前述した各種材料モデルを適用した解析モデル（A-1~A-6）を作成した．実験と解析との比較検討，材料モデルの違いによる解析結果の検討を行った．解析モデルの一覧表を**表－1**に示す．

キーワード：ねじり，有限要素法，PC部材，交番載荷実験，軸力

連絡先：〒169－8555　新宿区大久保3－4－1　早稲田大学51号館16F－01　TEL/FAX：03-5286-3852

表－1　解析ケースの一覧表

解析モデル	供試体	コンクリート材料モデル
A-1-a	E-1	Thorenfeldt，Hordijk モデル
A-1-b		前川，Hordijk モデル
A-2	E-2	履歴モデル
A-3	E-3	
A-4	E-4	
A-5	E-5	
A-6	E-6	

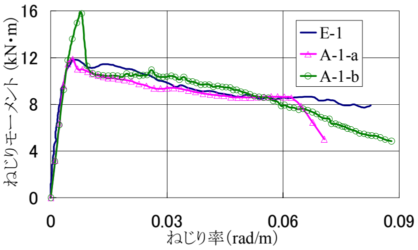


図－4　解析モデルのメッシュ図

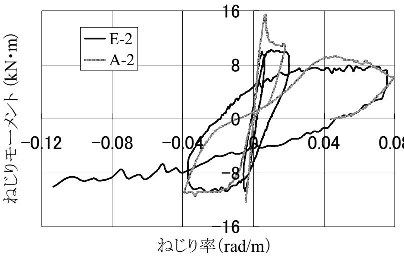
図－4 に解析モデルのモデルメッシュ図を示す．解析モデルは実験と同じように，下端は X，Y，Z 三方向に固定拘束にし，上端には荷重を作用させた．軸力は荷重制御で行い，ねじりモーメントは強制変位で制御した．

３．解析結果および実験結果との比較検討

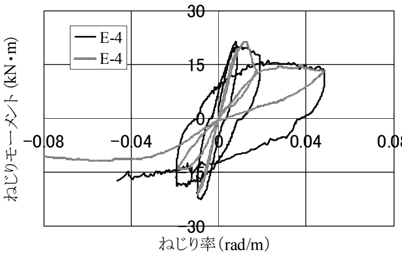
図－5 は供試体 E-1 のねじりモーメントーねじり率曲線の実験値と解析値を比較したものである．A-1-a 解析モデルは，初期状態，最大ねじりモーメント，そして終局状態までともに実験値とよく一致した．一方，A-1-b 解析モデルは，初期状態そして終局状態は実験値とよく一致したものの，最大ねじりモーメントは実験値より大きくなった．前川モデルは三軸応力下におけるコンクリートの弾塑性破壊モデルで，横拘束鉄筋を有する RC，PC 部材の応力解析に必要な予測精度を有しているが，本解析では，ねじりと軸方向圧縮を受ける PC 部材の応力解析に前川モデルの拘束効果が過大評価されているではないかと思われる．**図－6** は E-2 供試体の荷重履歴曲線の実験値と解析値を比較したものである．図に示したように，本解析は実験の傾向を精度よくとらえることができた．しかし，**図－7** に示したように，軸力が作用する供試体（E-3~E-6）については，再載荷時の傾向をほぼとらえたものの，除荷時の残留ねじり率は実験よりかなり小さい．これは実験時軸力を供試体の上端に導入するとき，テフロンシートで供試体との摩擦係数をかなり低減したが，軸力のレベルが高いため，除荷時の小さい段階のねじりモーメントに対して，摩擦力が無視できず，残留ねじり率が大きくなったことが原因と思われる．



図－5　一方向載荷の解析結果



図－6　E-2 供試体の解析結果



図－7　E-4 供試体の解析結果

４．まとめ　本研究では，軸力，交番ねじりを同時に受ける PC 部材の力学性状に関して，載荷実験と材料の非線形と履歴モデルを考慮した有限要素法を用いた解析検討を行った．ここで，実験結果と比較検討を行った結果，解析について，得られた知見は以下のとおりである．**(1)**単方向載荷の供試体の解析については，全体ひずみに基づく構成則モデルを適用することで，実験結果とほぼ一致した荷重－変位曲線が得られた．**(2)**交番載荷の供試体の解析については，交番載荷時の材料モデルを適用することにより，軸力を作用しないで交番ねじりを受ける PC 部材の力学挙動を精度よくとらえた．しかし，軸力と交番ねじりを同時に受ける PC 部材の力学性状に関しては，実験の傾向をほぼ再現したものの，残留ねじり率などは実験とあまり一致しなかった．今後，解析のモデル化を工夫し，除荷時，最載荷時のコンクリート及び鉄筋の材料特性などが正確に把握されれば，解析精度がさらに向上すると思われる．

参考文献

1）たとえば，狩野芳一，ほか，：正負繰返しのねじりと曲げせん断を受ける RC 部材の耐力・靭性，第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 797~800, 1986.

2）Haiming HE, Osamu KIYOMIYA : STATIC LOADING TEST FOR PRESTRESSED CONCRETE MEMBERS SUBJECTED TO TORSION AND AXIAL FORCE，土木学会第 60 回年次学術講演会，5-555，pp. 1109~110, 2005.