

有限要素解析 シース管 グラウト  
付着 PC

1. はじめに

前報<sup>1)</sup>ではシース管の有無、鋼材種などを変数とした付着引き抜き実験を行い、その結果シース管を有する試験体で荷重 - 変位関係において荷重のピークを複数持つものが存在した。その原因を、グラウトに発生するマイクロクラックをシース管が拘束するためであると推測したが、その因果関係は明らかではない。

本研究では、シース管を有する付着引き抜き実験を行い、その実験を対象として三次元非線形有限要素解析を行うことで、その付着機構を検討することを目的とする。

2. 解析概要

実験に使用した試験体の形状(図1参照)は前報と同様であるが、コンクリート強度、グラウト強度およびシース管形状が異なる。表1に材料特性を示す。非線形三次元 FEM 解析には FINAL<sup>2)</sup>を使用した。

解析モデル全体図および鋼材を除いた断面図を図1に示す。要素分割の平面形状は円形を正八角形で近似し、断面形状は PC 鋼材およびシース管のフシ形状を忠実に再現した。PC 鋼材、グラウト、シース管およびコンクリートは 8 節点アイソパラメトリック立体要素で表現し、スパイラル筋はコンクリート内に層状置換した。

PC 鋼材の材料モデルは実験時の引張試験の結果を多点折線で、シース管およびスパイラル筋はバイリニアで近似した。グラウトおよびコンクリートの  $\sigma - \epsilon$  関係の上昇域は高強度であることから Fafitis - Shah モデルとし、下降域は線形で近似した。

PC 鋼材、グラウト、シース管およびコンクリートの各境界には 8 節点アイソパラメトリック接合要素であるフィルム要素を挿入した。図2にその概要を示す。これは面と面の間における引張、圧縮およびせん断伝達特性を考慮するためである。フシ形状を忠実に再現し、噛み合

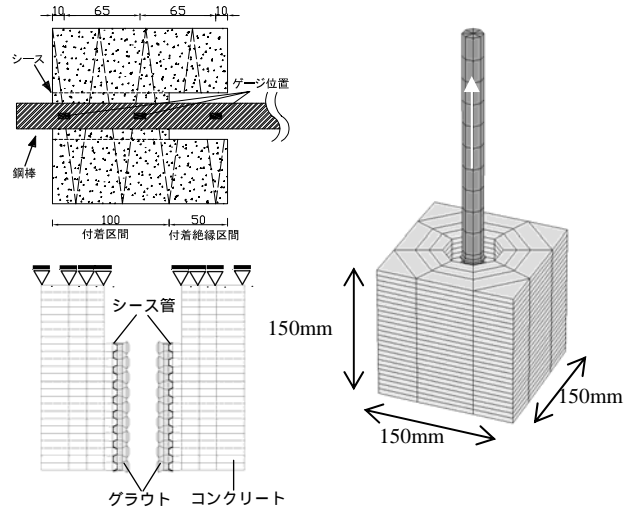


図1 モデル全体図と断面図

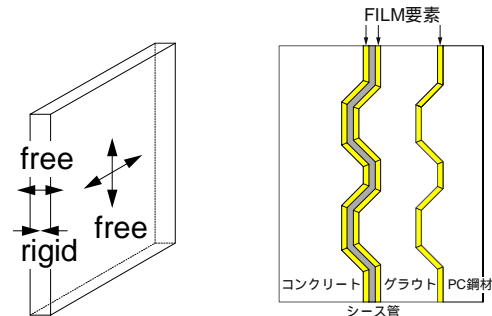


図2 フィルム要素概要

いによる付着の機械的作用を考慮する場合、通常は圧縮面の節点を共有させることで応力の伝達を行う事が多い。

しかしそれでは圧縮力だけでなく引張力およびせん断力をも伝達してしまい現実に即していない。そこで本解析ではフィルム要素の圧縮剛性のみ十分大きな値とし、引張およびせん断剛性をゼロとした。

加力は PC 鋼材中心軸の一節点に対して変位制御で引き抜き力を与えて行い、1.5mm を 300step に分けて単調載荷とした。また、コンクリートブロックの載荷端側の面をローラー支持して反力をとった。

3. 解析結果

図3に引抜き力と PC 鋼材自由端変位の関係を、実験値とあわせて示す。引抜き荷重の最大値は、実験値が 112kN に対して解析値が 118kN と概ね良好に対応した。しかし最大荷重時の自由端変位は、実験値が 0.45mm に対し解析

表1 材料特性

グラウト強度	コンクリート強度	シース管種		
86.6[MPa]	88.8[MPa]	#3040		
鋼材種	降伏応力度	降伏ひずみ	見かけのヤング係数	引張強さ
D22ネジボン	1042*[MPa]	7290[μ]	200[GPa]	1166[MPa]

\*PC鋼棒の降伏応力度は0.2%offset法で求めた

値が 0.06mm と小さい。この理由は後述する。

図 4 に試験体断面におけるひび割れ状況を示す。ひび割れが載荷端側から発生し、グラウトキーはほぼ無傷のままキーの根元の要素がせん断変形した。実験による付着破壊界面は PC 鋼材 - グラウト間であり、破壊形式は PC 鋼材のフシとフシの間のグラウトキーが形を残したままもぎ取られる、キーの直接せん断破壊であった。解析の破壊界面も同様であり良好に再現できた。しかし破壊形式は、グラウトキーの形を残しつつももぎ取られることなく、一層外側のグラウト要素がせん断破壊した。実験を再現するにはキーがもぎ取られるように、キーの付け根の境界でずれが生じる必要があるが、節点を共有させて応力の伝達をする本解析ではこの現象を再現できない。より精度良く再現するには、グラウトのせん断破

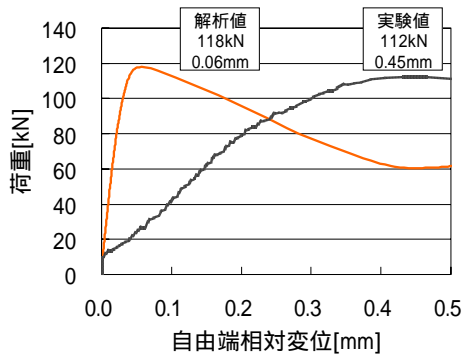
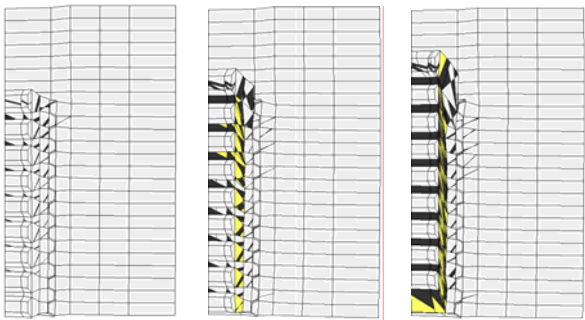


図 3 荷重 - 自由端相対変位関係



60kN 時 Peak 118kN 時 Peak 後 102kN 時  
図 4 ひび割れ図

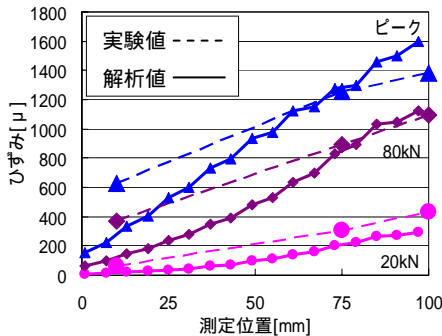


図 5 PC 鋼棒ひずみ分布

壊の挙動を表す要素を配する必要がある。

図 5 に PC 鋼材のひずみ分布を解析値は実線で、実験値は破線でそれぞれ示す。測定位置は値が小さい方が自由端側である。80kN 以降 10mm 付近において解析値と実験値に 300μ 程度の違いが見られるが、概ね良好に対応した。

#### 4. シース管の拘束効果

シース管に直近のグラウト要素と直近のコンクリート要素に生じる PC 鋼材から放射状に広がる応力を見ることで、シース管の拘束効果を検討した。

図 6 にグラウトおよびコンクリートに生じる放射状応力とその差分を示す。ピーク時における各要素が負担する放射状応力は、グラウトが 107kN、コンクリートが 79kN で、およそ 25% 程度の低減が見られた。この結果からシース管によるグラウト材に対する拘束効果があると言え、その反力として PC 鋼材に作用する圧力が存在し得る。その応力が PC 鋼材を締め付けることで再び引き抜き力が上昇すると推測するが、本解析ではその現象を再現することは出来なかった。

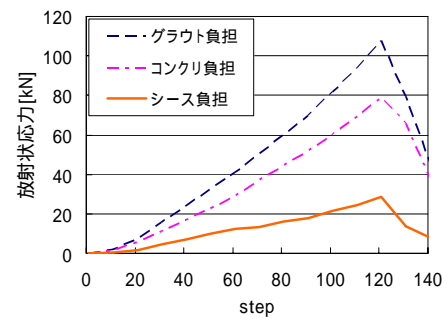


図 6 各要素が負担する放射状応力

#### 5. まとめ

シース管を有する付着引き抜き実験を行い、その実験を三次元非線形有限要素解析で再現することにより以下の知見を得た。

- (1) PC 鋼材、グラウト、シース管およびコンクリートの各要素間に 8 節点アイソパラメトリック要素を挿入することで良好な実験との対応を得た。
- (2) グラウトキーの直接せん断破壊を再現するには、グラウトのせん断破壊の挙動を表現する必要がある。
- (3) PC 鋼材から放射状に広がる応力がシース管によって拘束され、およそ 25% 程度低減することが判った。

#### 参考文献

1) 宮崎裕ノ介、北山和宏：シース管内の PC 鋼棒の付着強度に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 C-2、2007、pp.141-142  
2) 米沢健次、長沼一洋ら：正負繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の三次元非線形 FEM 解析、大林組技術研究所報、No.67、2003 年、pp1-8