

FEMによる接着系ボルト定着部の定量的耐荷性能評価に向けた基礎的研究

愛知工業大学 正会員 ○宗本 理  
 愛知工業大学 正会員 鈴木森品  
 愛知工業大学 正会員 嶋口儀之

1. 序論

近年、限界状態設計法への移行にともない、ゴム支承などの固定にも使用されるあと施工アンカーボルト定着部では、地震時に先行的にボルトを破断させ、橋脚や主桁の損傷を最小限に抑えるといった取組みがなされており、各部材の損傷を適切に制御することが重要視されている。耐荷性能に関する既往の実験的研究は多く存在する一方で、地震などによる動的荷重も含めた解析的研究はあまり実施されていない。そこで本研究では、任意の荷重方向におけるあと施工アンカーボルト定着部の耐荷性能を定量的に評価可能な解析手法の確立を目指す。具体的には、静的引抜き荷重試験とせん断荷重試験を対象としたボルト定着部の解析から本研究で提案する付着特性モデルの妥当性について検証する。

2. 解析概要

本研究で対象とした試験は著者らが実施した図-1に示すあと施工アンカーボルトの静的引抜き荷重試験とせん断荷重試験である。これらの試験に用いた供試体概要図を図-2に示す。供試体はモルタル母材(500mm×500mm×300mm)にアンカーボルト D29 (材質 SD345) を 200mm 埋め込み、埋込深さがボルト径に対して 10D 以上施工上確保できない場合を想定した。各種材料定数を表-1に示す。解析モデルに関して、引抜き荷重試験では対称性を考慮した1/4モデル、せん断荷重試験では1/2モデルとし、アンカーボルト、モルタル、さらに両者の付着破壊を模擬したずれ要素に8積分点を有するソリッド要素を用いた。特に、図-3に示すずれ要素(付着特性モデル)は等方弾性体と表現し、せん断荷重時の圧縮を考慮するため、静水圧がコンクリートの材料強度に与える影響に関する既往の実験<sup>1)</sup>から体積ひずみに応じて付着強度が変化する付着特性を与えた。コンクリートと鋼材の応力-ひずみ関係を図-4に示す。材料特性では鋼材・モルタルともに Von Mises の降伏条件を適用し、圧縮側では塑性域で弾性係数の1/100で硬化するものとした。一方、コンクリートの引張側では引張破壊エネルギーと要素の等価長さから算出した軟化勾配を有する線形軟化モデルを用いた。

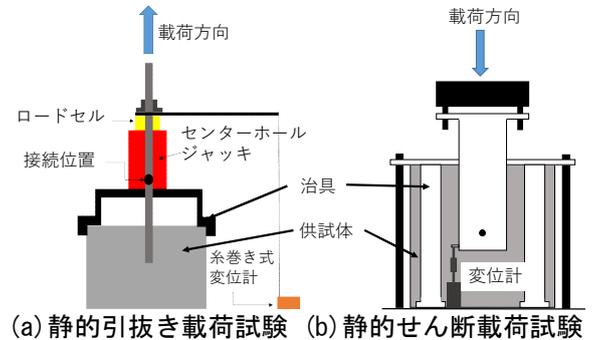


図-1 試験方法

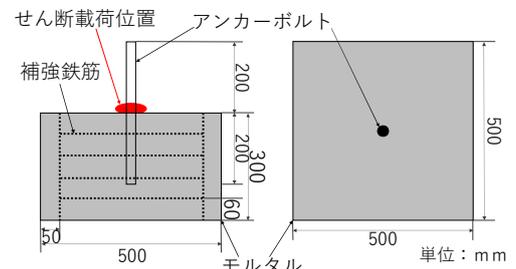


図-2 供試体寸法  
表-1 各種材料定数

	コンクリート	アンカーボルト(SD345)
ヤング率(MPa)	21000	210000
ポアソン比	0.2	0.3
密度(kg/m <sup>3</sup> )	2350	7850
引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	2.3	490
降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )		345
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	27.6	

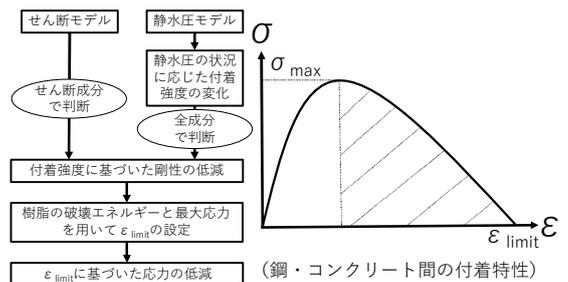
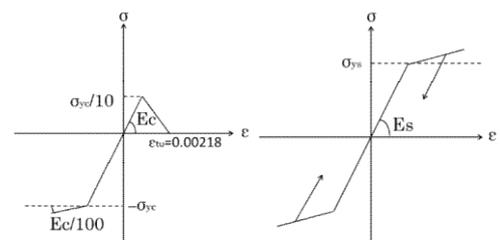


図-3 付着特性モデルの表現方法



(a) コンクリート (モルタル) (b) 鋼材  
図-4 応力-ひずみの関係

キーワード 接着系ボルト定着部, FEM, 付着特性, 引抜き荷重, せん断荷重

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学 TEL (0565) 48-8121

### 3. 解析結果

#### 3. 1 引抜き载荷シミュレーション

静的引抜き载荷試験を対象とした実験・解析結果として図一1(a)に引抜き耐荷力ー変位関係、(b)に破壊性状を示す。(a)より、実験と解析結果で比較すると、付着特性モデルに関わらず、解析結果による立ち上がり剛性が実験に比べて大きいことが分かる。これは、鋼・コンクリート間の樹脂をソリッド要素により表現したため、実現象よりも剛に評価したものと思われる。一方で、最大引抜き耐荷力に関しては、静水圧モデルは実験よりも多少大きい、両モデルともに実験と近い結果が得られた。次に、(b)の破壊性状ではコンクリートのひび割れ状況として最大主ひずみ分布を示した。なお、本研究では  $2000\mu$  を超えた灰色部分をコンクリートがひび割れた領域と想定した。これらの結果より、実験では①に示すようにモルタル上面から約  $40\text{mm}$  がコーン状破壊、残りが付着破壊しているのに対して、解析では静水圧モデルで実験と同様の傾向が確認できた。しかし、解析では付着破壊を模擬したずれ要素同士が接触した状態でせん断変形していくため、ひずみの値がボルト上面に近い要素から徐々に増加し上面に近い要素全体が灰色となる傾向が見受けられた。

#### 3. 2 せん断载荷シミュレーション

静的せん断载荷試験を対象とした実験・解析結果として図一5(a)にせん断耐荷力ー変位関係、(b)に破壊性状を示す。なお、解析による破壊性状は静水圧モデルである。この図より、実験と解析で比較すると剛性に多少差異が見られるものの、静水圧モデルによる解析は実験と概ね近い結果が得られた。両解析モデルにおける差異に関して、鋼・コンクリート間のずれ要素では静水圧モデルの方がせん断モデルに比べて圧縮域で強度が増加するため、立ち上がり剛性に差異が表れたものと思われる。次に、(b)の破壊性状について実験と解析で比較すると、実験・解析ともにボルト近傍における供試体表面にひび割れが生じる同様の結果となった。

### 4. 結論

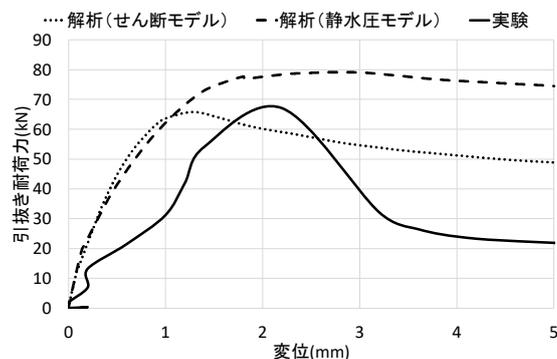
本研究では FEM による载荷方向を変えたボルト定着部の解析を実施した。その結果、静水圧モデルの方がせん断モデルよりも実現象を良好に評価可能であることが認められた。

### 謝辞

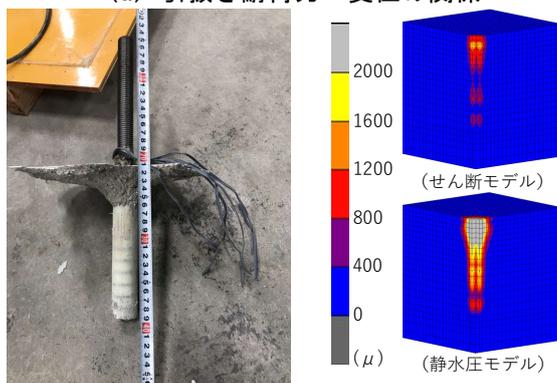
本研究は、平成 28 年度科学研究費補助金・若手研究(B) (研究代表者：宗本理，課題番号 16K18142) の助成を受けて行いました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

### 参考文献

1) 鈴木澄江, 小山善行, 陣内浩, 早川光敬: 圧縮強度試験における荷重速度がコンクリートの圧縮強度と変形性状に及ぼす影響に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻, 第 636 号, pp201-207, 2009, 2



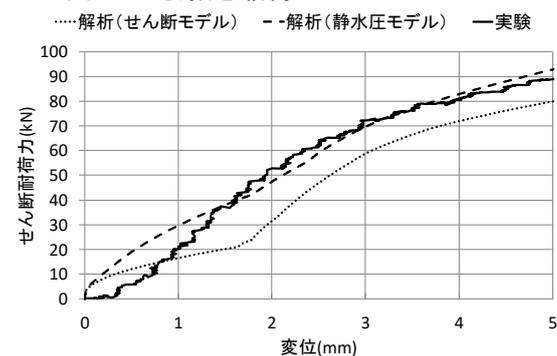
(a) 引抜き耐荷力ー変位の関係



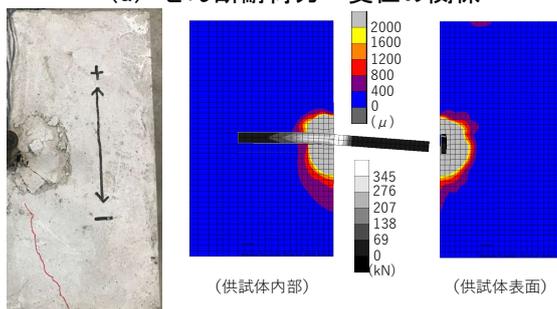
②解析結果

(b) 破壊性状

図一5 引抜き载荷シミュレーション



(a) せん断耐荷力ー変位の関係



②解析結果

(静水圧モデル)  
(b) 破壊性状

図一6 せん断载荷シミュレーション