埋め込み深さの変化によるボルト定着部の付着破壊メカニズムに関する一考察

愛知工業大学　学生会員　○近藤駿光　愛知工業大学　正会員　鈴木森晶
愛知工業大学　正会員　宗本　理　愛知工業大学　正会員　嶋口儀之

１．序論

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震や平成 24 年に起きた笹子トンネル天井板落下事故などボルト接合部の損傷による問題が多く発生している．アンカーボルトの点検は目視点検が主流だが詳細な損傷度合いの把握は困難である．また，アンカーボルト接合部を対象とした実験は多く実施されてきたが，ボルト定着部の破壊性状が表現困難なため解析的な検討が少ないのが現状である．

そこで本研究では，既往の論文[1)]よりコーン破壊が確認されている実験供試体をモデル化し，解析の妥当性を埋め込み深さ 200mm のケースを用いて証明した上で，ボルトの埋め込み深さを 200mm，150mm，100mm, の 3 ケースの静的引抜き解析によるボルト定着部の付着破壊のメカニズムについて考察した．

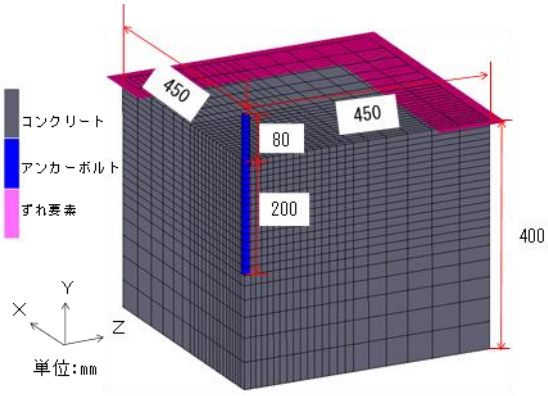
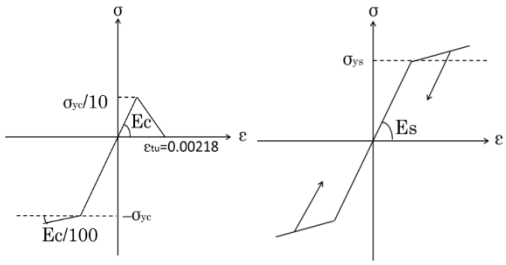


図-1　供試体概要図
（埋め込み深さ 200mm）

２．解析概要

２．１解析モデルと材料特性

本研究で用いた解析モデルを図-1 に，各材料の応力-ひずみ関係を図-2，材料定数を表-1 に示す．今回用いたモデルは，モルタル母材(縦 900mm×横 900mm×高さ 400mm)にアンカーボルト(直径 19.1mm，長さ 280mm，埋め込み深さ 200mm)を埋め込んだ形状とし，対称性を考慮したアンカーボルト定着部の 1/4 モデルとした．コンクリートとアンカーボルトは共にソリッド要素を使用した．材料特性はコンクリートには 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，引張側では圧縮強度の 1/10 の引張強度を有し，軟化勾配を有する線形軟化モデルを用いた．アンカーボルトも同様に Von Mises の降伏条件を適用し，降伏後には初期剛性の 1/100 の剛性で等方硬化するモデルを用いた．載荷条件として，コンクリート上部の端から 120mm の部分までを上から固定し，ボルト上端部に引抜き方向の強制変位を与えた．コンクリートとアンカーボルトの付着に関して対象とした静的引抜き実験ではコーン破壊と付着破壊が確認されているため，アンカーボルトとコンクリート側面との間にずれ要素を用いた．また，モデル底面部の付着に関しては，ボルトと接するコンクリート要素が引張り限界ひずみに達した場合にその要素を消去して底面付着破壊を表現した．



(a)コンクリート (b)アンカーボルト
図-2　応力-ひずみ関係

表-1 各材料定数

	モルタル	アンカーボルト(D19)
弾性係数 (Gpa)	21	210
ポアソン比	0.2	0.3
質量密度 (g/cm³)	2.35	7.85
圧縮強度 (Mpa)	19.2	823.2
引張強度 (Mpa)	1.88	224 (降伏強度)

２．２付着破壊の表現

解析では付着破壊の表現方法の 1 つとして，ずれ要素の導入を試みた．ずれ要素は等方弾性体とし，ボルトとコンクリート界面のせん断応力がせん断強度に達した後，せん断弾性係数を減少させることでせん断応力の低下を再現し，擬似的にせん断破壊を表現した．具体的に，せん断強度に対するせん断応力の比率を求め 1 から差し引くことで残存値とし，せん断弾性係数とせん断力に乗じることでせん断応力の低下により付着破壊の再現を行った．残存パラメータ-せん断応力関係を図-3 に示す．

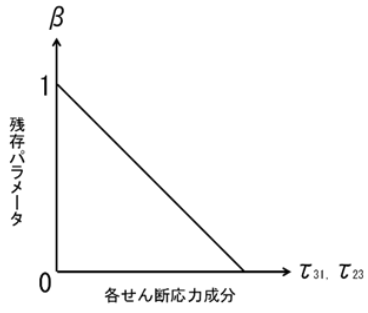


図-3　$\beta-\tau$ の関係

キーワード　アンカーボルト　静的引抜き解析　ずれ要素　付着破壊　コーン破壊
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. 実験結果

3.1 コーン破壊を前提とした静的引抜き解析

解析で得られた荷重-変位関係について実験値の最大引抜き荷重と比較した結果を図-4 に示す．図-4 より解析結果では完全付着モデルで荷重が常に増加しているのに対し，ずれ要素を用いた解析は，最初に荷重が落ちた部分で底面付着破壊が起こっており，最大荷重を迎えた部分ではコーン破壊が起きている．ずれ要素を用いた解析による最大引抜き荷重は 129.3kN，実験による最大引抜き荷重は 155.8kN となっており，解析と実験で概ね近い結果となった．図-5 には埋め込み深さ 200mm のずれ要素を用いたモデルの破壊性状として最大主ひずみ分布を示す．ひずみ値は十分ひび割れが起きていると思われる 2000μ を最大とした．図-5 からボルト底面からコーン破壊による主ひずみが上面に向かって形成されており実現象に近い結果が得られた．これらのことから，有限要素法での静的解析による最大耐力を評価するためには，ボルト底面の付着破壊やコンクリートとアンカーボルト側面の付着を考慮することが重要であることが認められた．

3.2 ボルトの埋め込み深さを変えた静的引抜き解析

埋め込み深さ 200mm，150mm，100mm による荷重-変位関係について図-6 に示す．図-6 より 3 ケースによる荷重と変位関係を比較すると，埋め込み深さが浅くなるにつれ，最大荷重が小さくなっていることが分かる．最大荷重を迎えるまでの抜き出し量においてずれ要素の残存パラメータを埋め込み深さ別に比較したものを図-7 に示す．この図より，埋め込み深さが 150mm，100mm のケースにおいては埋め込み深さが深い領域ほどずれ要素の残存パラメータの値が小さくなっており，埋め込み深さ 200mm のケースとは明らかに異なることが確認できる．これは，埋め込み深さが浅い供試体ほど，コーン破壊から複合破壊へと変化する可能性が高いと考えられる．

4. 結論

底面付着破壊とずれ要素モデルを用いることで，最大引抜き荷重と破壊性状は解析と実験で概ね近い結果が得られ，底面付着破壊とずれ要素モデルの有用性が示せた．このモデルを用いてボルトの埋め込み深さを変化させると，ボルトの埋め込み深さが浅いケースほどボルト底面に近いずれ要素の残存パラメータの値が減少しボルト底面付近では付着破壊が生じ，コンクリート上面付近ではコーン破壊が生じる傾向が解析から得られた．

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) 松崎育弘，川瀬清孝，永田守正，石川公章，今井清史，竹内博：樹脂アンカーの支持耐力に関する実験的研究，日本建築学会学術講演概要集，1983.9 力学論文集，Vol.46A，pp.1-8，2008，8 月．

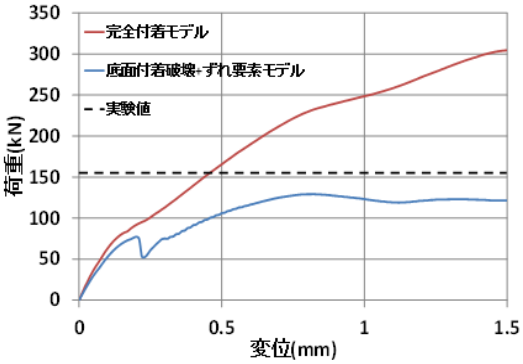


図-4 荷重-変位関係

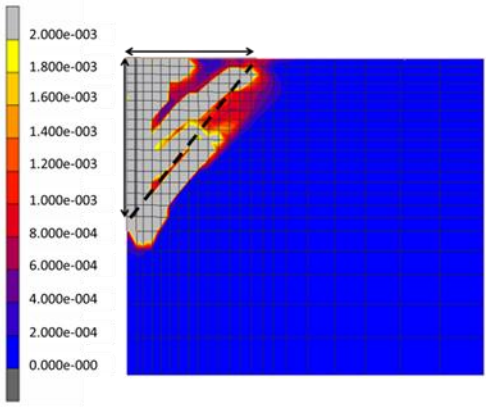


図-5 破壊性状(主ひずみ分布)
埋め込み深さ 200mm

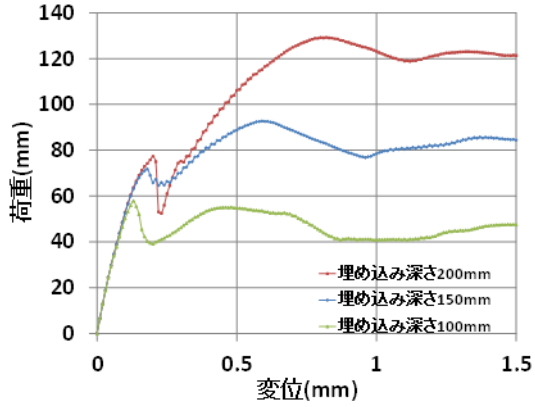


図-6 埋め込み深さ別
荷重-変位関係

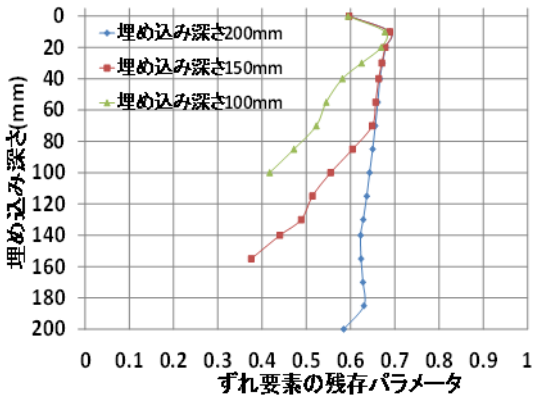


図-7 埋め込み深さ-ずれ要素の
残存パラメータの関係