

引抜き荷重を受けるアンカーボルトの SPH 解析に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生会員 ○ 清成康平
 九州大学大学院 学生会員 宗本 理
 九州大学大学院 正会員 園田佳巨

1. まえがき

引抜き荷重を受けるアンカーボルトの設計は、表-1 に示す各破壊モードにおける引張耐力を比較し、最も小さい引張耐力の破壊モードが生じると想定し、そのモードの耐力がアンカーボルトの終局耐力になると考えられている。しかし、この方法においてはコーン破壊と付着破壊の複合破壊や、動的荷重が作用した場合に想定される材料強度の速度依存性などの影響が考慮されていないことから、アンカーボルトを有する構造物の耐震強度などを保証するには、従来の手法に上記の要因などを考慮し、アンカーボルトの耐荷性能を正確に予測できる評価法を確立することが重要である。

本研究では、任意条件下におけるアンカーボルトの破壊形態を正確に予測できる評価手法を確立するため、構造部材の破壊による大変形や分離等を表現し易いメッシュフリー法の一つである SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に着目し、SPH 法によるアンカーボルトの引抜き破壊の解析的な検討を行った。具体的には、表-1 の設計式でコーン破壊、ボルト破断が予測されるボルト埋め込み深さが異なる二つの解析モデルを用いて、これらの引張耐力に関して SPH による解析値と設計値の比較を試みた。

2. 解析概要

2.1 SPH 法

図-1 に SPH 法による近似の概念を示す。SPH 法では、解析対象を粒子で離散化し、評価対象の粒子の物理量は影響半径内に存在する他の粒子の物理量を用いて、式(1) に示す重み付き平均で近似的に評価される。

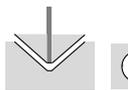
$$f(x) \approx \int f(x') W(x-x', h) dx' \quad (1)$$

ここに、 $f(x)$ は評価対象粒子の物理量、 $W(x-x', h)$ は Kernel 関数であり、 h は影響半径、 x は評価対象の粒子座標、 x' は評価対象以外の粒子座標である。

2.2 解析モデルの概要

解析モデルは、図-2 に示すような $200 \times 200 \times 130$ [mm] のコンクリートブロックの中央に直径 10 [mm] のボル

表-1 各破壊モードにおける引張耐力の設計式¹⁾

ボルト破断 T_{a1}	コーン破壊 T_{a2}	付着破壊 T_{a3}
		
$T_{a1} = \sigma_s a_s$	$T_{a2} = 0.23 \sqrt{\sigma_B} A_c$	$T_{a3} = \tau_a \pi d l$ $\tau_a = 10 \sqrt{\sigma_B / 21}$

σ_s : ボルトの降伏強度 a_s : ボルトの断面積 σ_B : コンクリートの圧縮強度
 A_c : 有効水平投影面積 d : ボルトの直径 l : ボルトの有効埋め込み深さ

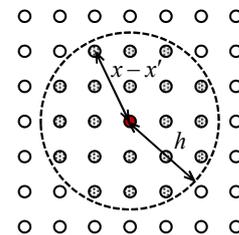


図-1 SPH 法による近似の概念

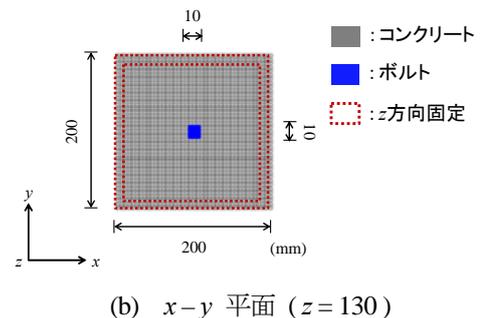
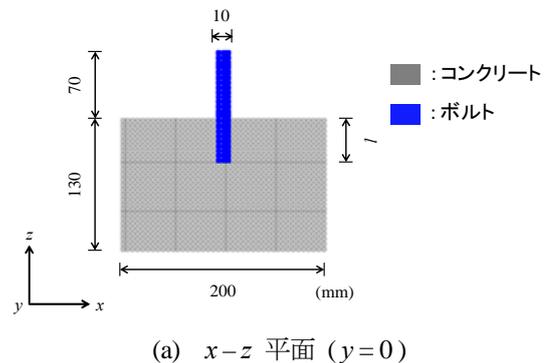


図-2 解析モデル

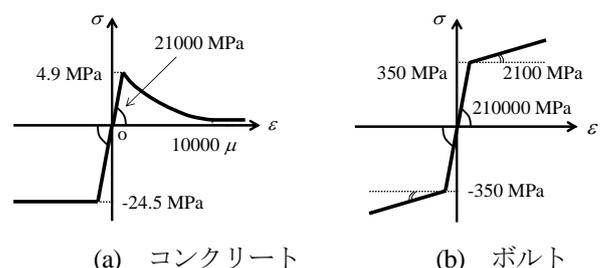


図-3 応力 - ひずみ関係

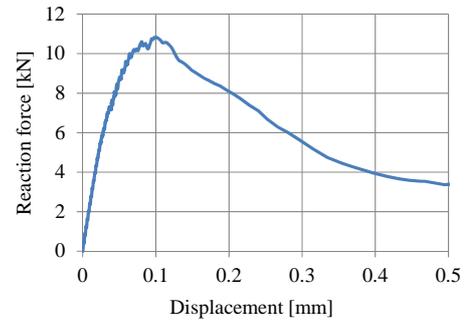
トを埋め込み深さ l [mm] で埋設したものをを用いた。なお、コンクリートブロックおよびボルトは、粒子径 2.5 [mm] の粒子で離散化しており、解析モデルの総粒子数は約 35 万である。また、境界条件は文献 2) を参照し、**図-2.(b)**のように赤い線で囲まれた領域で鉛直変位を拘束した。さらに、荷重の入力条件として、ボルト上端に 980 [kN/sec] の速度で単調増加する鉛直上向き的高速引抜き荷重を設定した。

コンクリートおよびボルトの降伏条件には、それぞれ Drucker-Prager の降伏条件および Von Mises の降伏条件を用い、**図-3** に示す単軸換算の応力 - ひずみ関係を設定した。なお、**図-3.(a)**における 10000 [μ] は、コンクリートの過度な局所破壊を防止するために、引張破壊エネルギーと粒子径の関係から求めた引張軟化勾配に基づいて決定した引張破壊ひずみである。

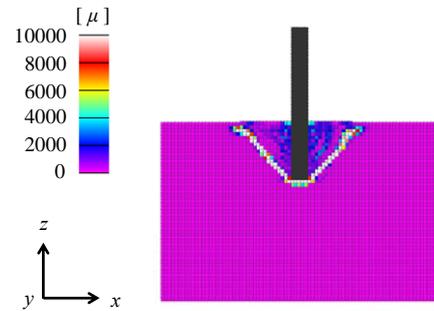
3. 解析結果および考察

図-4 に埋め込み深さが浅いモデル ($l = 40$ [mm]) の SPH 解析結果を示す。**表-1** の設計式では、このモデルはコーン破壊が先行して発生し、終局耐力は約 4.29 [kN] となる結果が得られる。それに対し、SPH 解析による終局耐力は、**図-4.(a)**より約 10.8 [kN] の値が得られており、設計式による終局耐力より約 2.5 倍大きいことが認められる。**図-4.(b)**より、SPH 解析においても**表-1** の設計計算の仮定と同様に、ボルト底面からコンクリート表面に向かってひび割れの進展が想定されるコーン破壊に対応した最大主ひずみ分布が確認できる。この解析結果から、動的な引抜き荷重が作用すると、設計式と想定される破壊モードが同じであっても、終局耐力は異なることが確認された。

図-5 に埋め込み深さが深いモデル ($l = 100$ [mm]) における SPH 解析の結果を示す。**表-1** の設計式では、このモデルの破壊形態はボルト破断であり、終局耐力は約 27.5 [kN] と推定される。それに対し、**図-5.(a)**に示すように、SPH 解析による終局耐力は約 21.9 [kN] であり、設計式から推定されたボルト破断耐力の 27.5 [kN] より小さい結果が得られた。この原因として、SPH 解析ではボルト破断が生じる前に、**図-5.(b)**に示すような 40 [mm] 程度の埋め込み位置から進展するコーン破壊と底面から進展する割裂によって耐力が低下したと考えられる。これらの結果から、SPH 法による解析で簡易な設計式では想定できない破壊の可能性が把握できることが確認された。

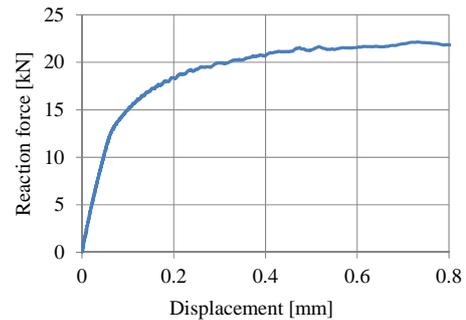


(a) 引張耐力 - ずれ変位

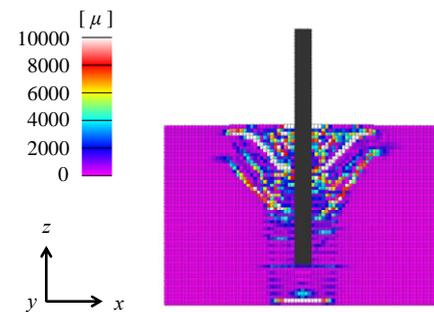


(b) 最大主ひずみ分布 (ずれ変位 0.3 [mm], $y=0$)

図-4 埋め込み深さが浅いモデルの解析結果



(a) 引張耐力 - ずれ変位



(b) 最大主ひずみ分布 (ずれ変位 0.6 [mm], $y=0$)

図-5 埋め込み深さが深いモデルの解析結果

参考文献

- 1) 国土交通省：あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針, p1-4, 2006
- 2) 中山淳, 藤掛一典, 佐藤紘志, 石橋猛, 神保隆弘：接着系あと施工アンカーの動的引抜き耐力に関する研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会, pp.168-169, 2001 年 10 月