

SPH 法を用いた引張荷重を受けるアンカーボルトの耐荷性能評価へ向けた基礎検討

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

1. まえがき

引張荷重が作用するアンカーボルトは、図-1 に示す破壊モードが単体もしくは複合して生じることで破壊に至る。ここで、コーン破壊は脆性的な破壊モードであるためアンカーボルトの設計においては、コーン破壊が生じないように留意する必要がある。しかし、アンカーボルトの破壊形態は、ボルトの埋め込み深さやコンクリートおよびボルトの材料特性、外力条件など様々な要因によって複雑に変化するため、コーン破壊が生じないようにアンカーボルトを設計する上で種々の条件下においてアンカーボルトの破壊形態や耐荷性能を正確に予測することができる評価方法の確立が重要になる。そこで、本研究では、引張荷重を受けるアンカーボルトの大変形や分離などを伴う破壊モードを適切に評価するためにメッシュフリー法の一つであり、固体の構造解析への適用例¹⁾も報告されている SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に着目した。そして、SPH 法を用いた引張荷重を受けるアンカーボルトの基礎検討として、コーン破壊とボルト破断の 2 つの異なる破壊モードにおける耐荷性能の評価に関して SPH 法の適用性について検討した。

2. 解析概要

2. 1 SPH 法

図-2 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。

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

ここで、 $f(x)$ は評価対象の粒子の物理量、 $W(x-x', h)$ 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

解析モデルには、図-3 に示すコンクリートブロッ

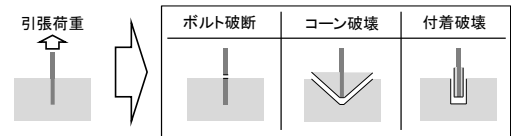


図-1 アンカーボルトの一般的な破壊形態

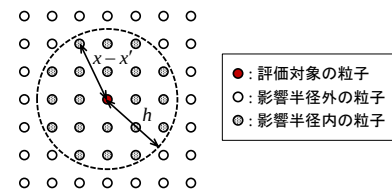


図-2 SPH 法による近似の概念

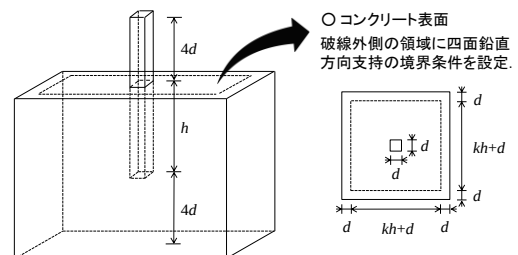


図-3 解析モデルの概要

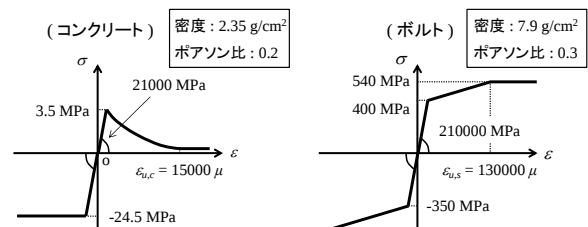


図-4 応力 - ひずみ関係

クの中央に直径 $d = 12$ [mm] のボルトが設置されたものを用い、直径 3 [mm] の粒子で離散化した。また、境界条件としてコンクリート表面の四辺に鉛直方向固定の領域を設定し、外力条件としてボルトの頂点から 3 層分までの粒子に対して、0.5 [m/s] の時刻歴に一定の速度を与えた。なお、コンクリートとボルト間の付着特性には、完全付着を仮定している。

次に、コンクリートおよびボルトの材料特性には、図-4 に示す単軸換算の応力 - ひずみ関係を設定し、コンクリートは Drucker-Prager の降伏条件、ボルトは Von Mises の降伏条件をそれぞれ用いた。ここで、

キーワード アンカーボルト, SPH 法, コーン破壊, ボルト破断

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学大学院工学府 TEL 092-802-3370

図中の $\varepsilon_{u,c}$ はコンクリートの破壊エネルギーと粒子径の関係から決定した引張破壊ひずみ, $\varepsilon_{u,s}$ はボルトの破断ひずみをそれぞれ意味する。

3. 解析結果および考察

図-5 に埋め込み深さが浅いモデル ($h = 2d, k = 4$) の解析結果を示す。これより、荷重-ずれ変位関係はずれ変位の増加に伴い増加し、最大引張耐力後は減少していく挙動を示している。ここで、荷重-ずれ変位関係の初期段階において挙動が振動した要因としては、本解析が時刻歴な応答解析であることが考えられる。また、図-5.(b)より、最大引張耐荷力となるずれ変位 1 [mm] において、コーン破壊に相当する領域に引張限界ひずみに相当する高い最大主ひずみ分布が確認される。以上より、このモデルの破壊モードとして、コーン破壊が生じると判断できる。

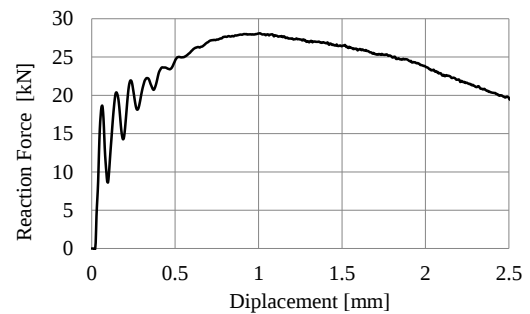
図-6 に埋め込み深さが深いモデル ($h = 4d, k = 2$) の解析結果を示す。まず、荷重-ずれ変位関係に関して、降伏引張耐荷力(①)および最大引張耐荷力(②)は、図-4 に示すボルトの降伏応力および引張り強さにボルト断面積を乗じた値と概ね一致している。また、ボルトの外力作用方向のひずみ分布に着目すると、図-6.(b)に示すようにずれ変位の増加にともない、コンクリート表面位置のボルト断面で局所的にひずみが集中していることがわかる。また、図-6.(c)に示す最大主ひずみ分布より、コンクリートのひび割れ領域は分散し、②の時点においても引張破壊ひずみには到達していないことが認められた。これらのことから、本ケースではコンクリートの破壊よりコンクリート表面でボルトが破断する可能性の方が高いことが推察される。

4. まとめ

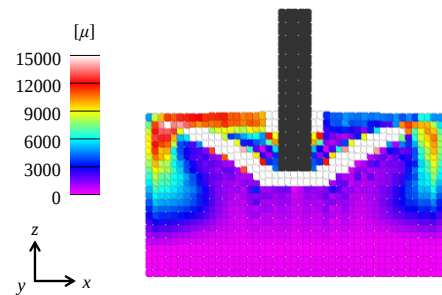
本研究では、SPH 法を用いた引張荷重を受けるアンカーボルトのシミュレーションを行い、SPH 法を用いることでアンカーボルトのコーン破壊およびボルト破断の破壊モードを解析的に得られ、耐荷性能評価に関して一定の適用性を有することを確認した。

参考文献

1) 深澤仁, 園田佳巨 : SPH 粒子法の構造部材の弾塑性解析への適用に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.1358-1365, 2009 年 3 月

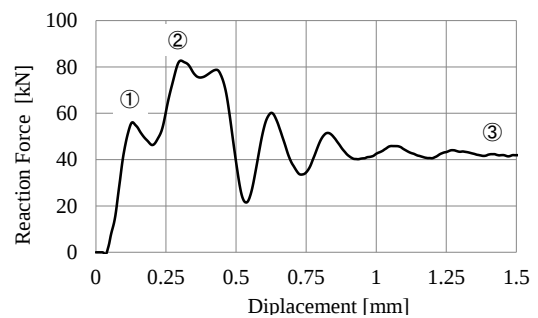


(a) 荷重-ずれ変位関係

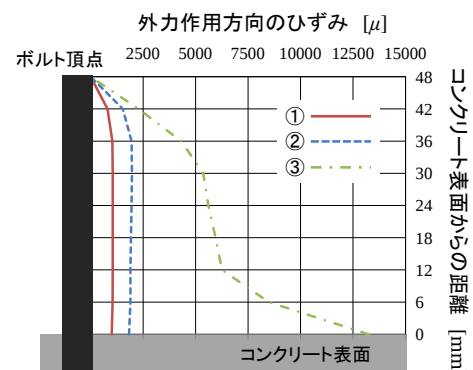


(b) 最大主ひずみ分布 (ずれ変位 1 [mm])

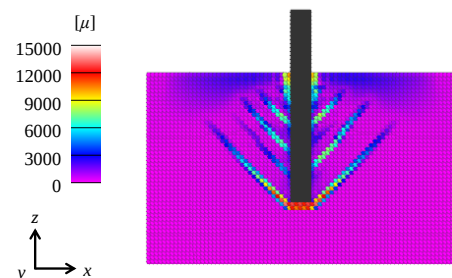
図-5 埋め込み深さが浅いモデルの解析結果



(a) 荷重-ずれ変位関係



(b) ボルトの外力作用方向のひずみ分布



(c) 最大主ひずみ分布 (ずれ変位 0.6 [mm])

図-6 埋め込み深さが深いモデルの解析結果