

アンカーボルトの引抜き速度が引抜き耐力と破壊形態に与える影響に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○後藤 真緒

九州大学大学院 非会員 路 馳

九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

付着型アンカーボルトは、コンクリート躯体と他部材とをアンカーボルト表面の付着力によって接合するための部材である。引抜き荷重を受けるアンカーボルトの破壊形態は、現行の設計指針ではコーン破壊・付着破壊・ボルト破断の3種類に分類される一方、指針で考慮されない種々の条件下では図-1に示す複合破壊が生じることが確認されている。このことから、現行の指針の適用範囲は明確であるとはいえず、破壊形態と引抜き耐力をより正確に予測できる手法の確立が求められている。本研究では、現行の設計指針で考慮されていない条件のうち、引抜き速度の影響を検討した。

2. 数値解析の手法

2.1. SPH 法の概略

本研究ではコンクリートの局所破壊現象を対象とするため、メッシュフリー法的一种である SPH 法を用いて数値解析を行った。式(1)のように、着目粒子の物理量は、影響範囲内に存在する近傍粒子の物理量の重み付き平均で評価される。ここに、 $\langle f(x) \rangle$ は物理量 $f(x)$ の近似、 Ω は影響範囲、 W は図-2に示す kernel 関数、 h は平滑化長さ、 x_i, x_j はそれぞれ着目粒子*i*と近傍粒子*j*の位置である。

$$\langle f(x_i) \rangle = \int_{\Omega} f(x_j) W(|x_i - x_j|, h) dx_j \tag{1}$$

2.2. 粒子モデル

本研究では、コンクリート躯体中央に D18 のアンカーボルトを、ボルト直径の3倍 (3d)、5倍 (5d)、7倍 (7d) の深さで埋め込んだ粒子モデルそれぞれについて、引抜き速度の影響を検討した。図-3に5dのモデルを代表して示す。境界条件として、コンクリート躯体外縁の上部粒子に全方向の変位拘束条件を、アンカーボルトの上部粒子に z_+ 方向の強制変位条件を与えることで载荷した。また、粒子モデルは x_- 面、 y_+ 面で面对称とした。なお、鉄筋およびコンクリートは粒子直径 3mm で離散化した。

2.3. 材料構成則および材料物性値

材料構成則として、鉄筋に von Mises 降伏条件、コンクリートに非線形 Drucker-Prager 降伏条件を適用した[1]。また本研究では载荷速度の影響を検討するため、鉄筋に対し高橋の式[2]、圧縮側コンクリートに対し藤掛らの式[3]、引張側コンクリートに対し Ross らの式 [4]を用いてひずみ速度効果を表現した。

材料物性値の一例として、静的物性値を表-1に示す。

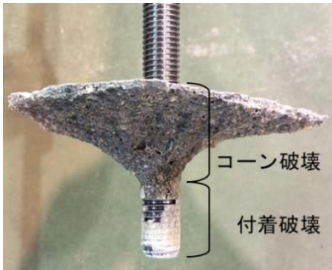


図-1：複合破壊

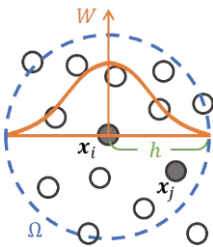


図-2：kernel 関数W

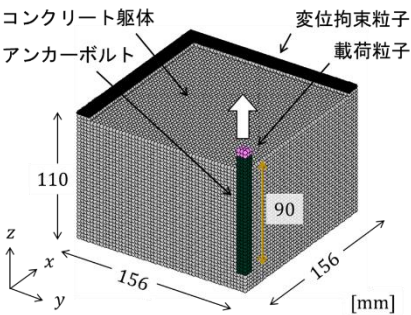


図-3：5d の粒子モデル

表-1：数値解析に用いた材料物性値

材料	鉄筋	コンクリート
圧縮強度 [MPa]	725.0	32.0
引張強度 [MPa]	725.0	2.32
ポアソン比 [-]	0.30	0.20
密度 [kg/m³]	7900.0	2350.0
ヤング率 [MPa]	209720	28606

キーワード アンカーボルト, SPH 法, 粒子法, ひずみ速度依存性, 動的解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1102 号室 TEL：092-802-3370

3. 数値解析結果

図-4 に設計耐力[5]および数値解析での引抜き耐力を示す。ここで、動的設計耐力は、現行の静的な設計耐力算定式中の材料強度を2.3.の動的強度で置換した値、荷重速度は、引抜き耐力に達するまでの荷重－時間関係の勾配としている。また、図-5 に発生荷重－引抜き変位関係を、表-2 に各ケースにおける引抜き耐力、最大主ひずみ分布、破壊形態を示す。

3.1. 埋め込み深さが3d, 5d のとき

引抜き速度の増加に伴って、図-4 より引抜き耐力が増加すること、図-5 より最大荷重発生後の耐力低下が急激となること、表-2 より破壊形態がコーン破壊、複合破壊、付着破壊と遷移することが確認できた。複合破壊は、設計上の破壊形態がコーン破壊から付着破壊に遷移する荷重速度の前後で発生することが明らかとなった。

3.2. 埋め込み深さが7d のとき

表-2 より破壊形態は、3.1.と同様にコーン破壊、複合破壊、付着破壊の順に遷移することが確認できた。一方、図-4 より引抜き耐力は、3.1.と異なり複合破壊が起こる荷重速度以上で低下することが確認できた。よって埋め込みが深いときには、複合破壊の発生によって引抜き耐力が低下するといえる。ただし、荷重速度が遅い場合に数値解析ではコーン破壊が発生しているが、設計上では付着破壊が発生すると予測されている。これは、現行の設計耐力が材料の降伏や材料界面の速度依存性を無視しているためと考えられる。

4. 結論と展望

本研究では、SPH 法を用いて、アンカーボルトの引抜き速度が引抜き耐力と破壊形態に与える影響を検討し、埋め込みが浅いときには引抜き速度の増加に伴い引抜き耐力も増加する一方、埋め込みが深いときには複合破壊が発生することで引抜き耐力が低下することなどを確認した。今後は、劣化したコンクリート中でのアンカーボルトの引抜き耐力について検討する予定である。

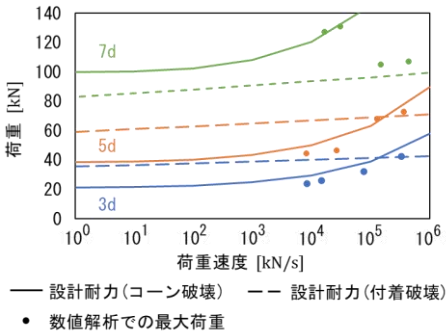


図-4：設計耐力と数値解析での最大荷重

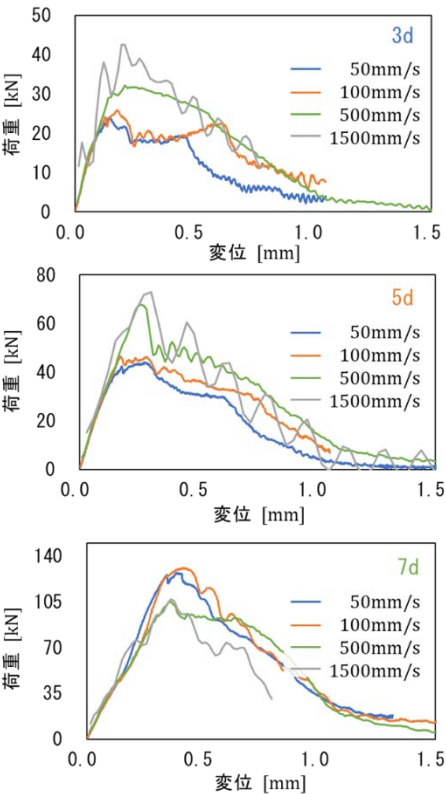


図-5：数値解析での荷重－変位関係

参考文献

[1] C. Lu, Y. Sonoda : An analytical study on the pull-out strength of anchor bolts embedded in concrete members by SPH method, *Applied Science*, 11, 8526, 2021.

[2] 高橋芳彦: 高速載荷試験による鉄筋コンクリートはりおよび鋼板・コンクリート合成はりの耐衝撃性評価に関する基礎的研究, 九州大学学位論文, 1990.

[3] 藤掛一典, 篠崎敬一, 大野友則, 水野淳, 鈴木篤: 急速一軸圧縮载荷を受けるコンクリートのポストピーク挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.627, V-44, 37-54, 1999.

[4] C. A. Ross, P. Y. Thompson, J. W. Tedesco : Split-Hopkinson pressure-bar tests on concrete and mortar in tension and compression, *ACI Materials Journal*, 86(5), 475-481, 1989.

[5] K. Fujikake, J. Nakayama, H. Sato, S. Mindess, T. Ishibashi : Chemically bonded anchors subjected to rapid pullout loading, *ACI Materials Journal*, 246-252, 2003.

表-2：数値解析での引抜き耐力，最大主ひずみ分布，破壊形態

引抜き速度 [mm/s]	50	100	500	1500
引抜き耐力 [kN]	24.1	25.9	32.2	42.6
最大主ひずみ分布				
破壊形態	コーン破壊	コーン破壊	複合破壊	付着破壊
引抜き耐力 [kN]	44.2	46.4	67.9	72.8
最大主ひずみ分布				
破壊形態	コーン破壊	コーン破壊	複合破壊	付着破壊
引抜き耐力 [kN]	127.2	130.8	104.8	107.1
最大主ひずみ分布				
破壊形態	コーン破壊	コーン破壊	複合破壊	付着破壊