アンカーボルトが埋設された母材コンクリートの動的引抜き破壊特性に関する解析的研究

九州大学大学院 学生会員 〇宗本 理 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

従来,落橋防止構造の設計耐力は静的な計算に基づいて耐荷力の照査が行われている.一般に、コンクリートに対して衝撃的荷重(動的荷重)が作用した場合、その力学的な影響は静的荷重と顕著に異なり、載荷速度が大きくなると脆性破壊を起こす危険性が高くなると考えられる.しかし、アンカーボルトのコンクリート定着部に関する研究は主に静的な引抜き実験を中心としたものが多く、衝撃荷重に対する母材コンクリートの動的破壊メカニズムについては明確に把握されていないのが現状である.そこで本研究では、3次元 FE 解析を用いて衝撃的外力を受けるアンカーボルト定着部のコンクリートの動的破壊を定量的に把握可能な解析手法の検討について試みた.

2. 解析概要

藤掛らが行ったあと施工アンカーの急速載荷引抜き試 験を参考にした、解析対象としたモデルは、図-1に示 す対称性を考慮した 1/4 モデルとした. 入力荷重は強制 変位として与え,静的荷重,荷重速度 1m/s, 3m/s, 5m/s の 4種類を検討した. 次に材料特性について, コンクリート には von Mises の降伏条件を適用し、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.一方,アンカーボルトに は von Mises の降伏条件を適用し、降伏後は初期剛性の 1/100 の剛性で等方硬化するモデルを用いた. 各材料の応 カーひずみ関係を \mathbf{Z} の一2、各材料定数を表 \mathbf{Z} の一1に示す. FEM は連続体をベースとした解析手法であるため、コン クリートに不連続面が形成され,ずれが生じるような解析 にはあまり適していない. そこで本研究では, アンカーボ ルトの付着すべりとコンクリートのコーン破壊の両者の 複合破壊を解析でシミュレートするため、図-3に示す付 着特性モデルを母材コンクリートとボルト間に設けた.こ のモデルは法線方向(引張・圧縮)に対してコンクリート, せん断方向に対して付着カー相対変位の材料特性を適用 することで疑似的に付着を表現した. なお, 最大付着力 au_{max} は対象とした実験値が未知なため, 島らの異形鉄筋ー コンクリート間の付着に関する実験による提案式から求 めた. また, 相対変位に関して, 最大付着力に達した後に

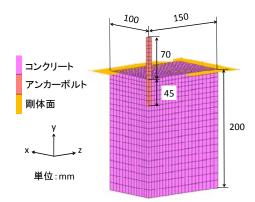
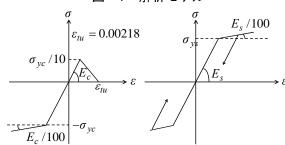


図-1 解析モデル



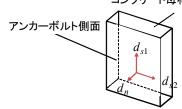
(a) コンクリート

(b) アンカーボルト

図-2 応カーひずみ関係 表-1 各材料定数

	普通コンクリート	アンカーボルト(D12)
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)	24.4	400
引張強度 (Mpa)	2.44	(降伏強度)

コンクリート母材側面



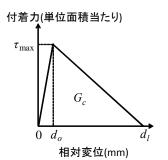


図-3 付着特性モデル

すべりが発生することを仮定するためにd_oを小さい値と し, d, は付着すべりが発生しても付着応力が急激に低下す ることを避けるために大きい値を用いた.

3. 解析結果

荷重速度が 5m/s のケースで、付着特性モデルの有無に よる荷重-変位関係を図-4に、相当応力分布によるコー ン破壊性状を図-5に示す. なお、コンクリートの引張強 度を超えた領域を灰色で表示している. 図-4 から、複 合破壊が生じた際, 完全付着を考慮したモデルでは引抜き 耐力が低下せずに増加するのに比べて, 付着特性モデルで は引抜き荷重が急激に低下していることから脆性的な破 壊が生じる結果が得られた. つまり, 付着特性モデルの場 合, コーン破壊面が形成されることで実現象の荷重-時間 特性に見られるような荷重の急減が得られることが認め られた. また $\mathbf{Z} - \mathbf{S}$ より、付着特性モデルの方が複合破壊 をより明確に表していることが確認できた.次に、最大動 的引抜荷重に荷重速度が与える影響について完全付着モ デル,付着特性モデル,実験結果による回帰式の3者を比 較したものを $\mathbf{20}$ -6に示す。 $\mathbf{20}$ -6ではアンカーボルトの 最終的なひずみ(公称ひずみで評価)と応力-ひずみ関係 から求めた荷重を時間で除すことで荷重速度としている. コーン破壊性状について, 付着特性モデルを用いた解 析による破壊面(相当応力分布から評価)と実験のコー ン破壊形状を破線で表して比較したものを図-7に示す. 図-6に関して完全付着モデルと付着特性モデルで比較す ると,動的引抜き荷重は荷重速度が速くなるにつれて両者 のモデルでともに増加していることがわかる. また, 実験 結果から求めた回帰式と比較すると, 付着特性モデルの方 が完全付着モデルに比べ近い結果が得られているが,各荷 重速度による引抜き荷重増加率は実験値より小さい結果 となった. この原因として, 材料強度や付着強度に対する ひずみ速度効果の影響を考慮していないことが挙げられ る. 図-7より解析ケース別(各荷重速度)にコーン破壊 性状を比較すると、実験と同様に引抜き荷重速度が速くな るにつれて、コーン破壊面積が徐々に小さくなっていく傾 向が見てとれる. 付着すべりに関して実験とは多少異なっ ているが、この原因の1つとして、解析で設定した相対変 位は要素特性長に依存することが考えられる.

40 35 30 25 (Z 20 15 **)** 拒 10 5 0 -5 -10 0.02 0.04 0.06 0.08 時間(ms) 図-4 荷重一時間関係 1.22 2.44 実験による破壊形状 (N/mm²)破壊面:約45mm 破壊面:約47mm 破壊面:約50mm 埋め込み深さ: 45mm (a) 完全付着モデル (b) 付着特性モデル 図-5 コーン破壊性状 ←付着特性モデル ★実験結果による回帰式 ♣完全付着モデル € 1.8 増加率(1.6 S 1.4 松 1.2 1 በ ጸ 荷重速度(kN/s) 図ー6 荷重速度による動的引抜き荷重増加率 2.44 (Mpa) (a)静的解析 (b)荷重速度:1m/s (c)荷重速度:5m/s

―完全付着モデル

一付着特性モデル

4. まとめ

図 — 7 荷重速度による破壊性状

本研究では、アンカーボルトの動的引抜き破壊メカニズムを把握し、耐力を定量的に精度良く評価可能な解析手 法を確立するために、3 次元 FEM の適用性について検証した. 今後は、材料の強度や付着特性に影響を与えるひず み速度効果や要素依存性に関する検討を行っていく予定である.