

横荷重を受ける片持ち丸鋼及び支持コンクリートの応力状態に関する基礎的研究

九州大学大学院	学生会員	○吉武 翔
九州大学大学院	正会員	玉井 宏樹
九州大学大学院	フェロー会員	園田 佳巨

1. はじめに

アンカーバーや緩衝ピンなどに代表されるように、コンクリートに一部を埋設された片持ち状態の円形棒鋼（以後、丸鋼と称す）に横荷重が作用する場合があるが、その応力状態は、曲げ、せん断、支圧の影響を受けるため非常に複雑なものになることが容易に想定できる。また、これらの作用は、丸鋼の径や長さ、横荷重の荷重位置や分布、さらには、支持コンクリート部の強度によって大きく影響を受けると考えられるが、設計において詳細に検討されているとは言い難い。そこで、本研究では、丸鋼の径や長さ、横荷重の荷重位置をパラメータとした3次元弾塑性 FEM 解析により丸鋼の応力状態について基礎的な検討を実施した。

2. 検討対象

本研究では、図-1 に示すように丸鋼がコンクリートに埋設されている構造体に横荷重が作用する場合を対象とし、直径 ϕ が 30mm と 120mm の丸鋼に対して荷重距離 a をパラメータとした検討を行った。検討対象を片持ち梁と仮定した際の自由端のせん断たわみ v_s と曲げたわみ v_b の比 v_s/v_b と a/ϕ の関係は Timoshenko 梁理論によると図-2 のようになるが、本研究では、せん断が支配的である $a/\phi=0.5$ 、曲げが支配的であるがせん断を無視できない $a/\phi=1.0$ 、曲げが支配的である $a/\phi=4.0$ の場合を検討ケースとして設定した。

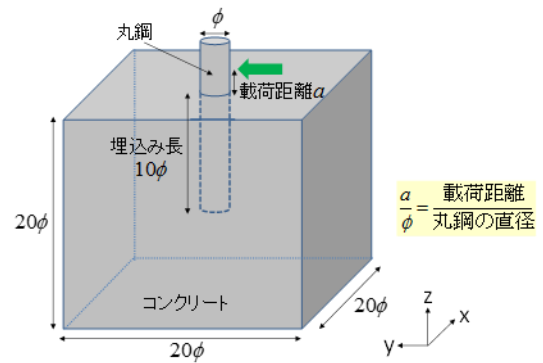


図-1 構造体の概要図 (単位: mm)

3. 丸鋼の応力状態把握のための FEM 解析

3.1 解析手法の概要

本研究では、非線形有限要素解析ソフト MSC.Marc2014 を使用し、荷重に伴う丸鋼の剛体変形の影響を考慮するため大変形理論に基づく静的荷重解析を実施した。なお、剛体面である荷重板と変形体である丸鋼は接触解析により力の伝達を考慮することとした。その際、摩擦の影響は考慮していない。

3.2 解析モデル及び材料モデル

解析モデルの一例を図-3 に示す。丸鋼およびコンクリートには共に 8 節点を有する 3 次元ソリッド要素を用い、丸鋼とコンクリートの節点は共有している。丸鋼の材料定数は弾性係数 205GPa、ポアソン比 0.3、降伏強度 345MPa とした。von Mises の降伏条件に従い、初期弾性係数の 1/100 の硬化係数を有するバイリニア型の等方硬化則を仮定した。コンクリートの材料定数は弾性係数 25GPa、ポアソン比 0.2、圧縮強度 24MPa、引張強度 2.4MPa とした。非線形 Mohr-Coulomb の降伏条件に従うと仮定した。境界条件は、コンクリート上面以外を面外方向の節点自由度を拘束し、丸鋼直径の 2 倍の直径を持つ剛体面に強制変位を与えて漸増荷重した。

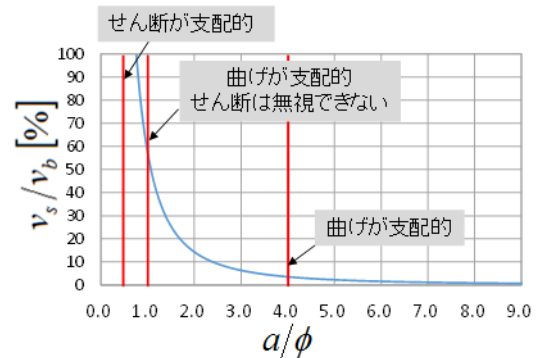


図-2 曲げ及びせん断たわみ比と a/ϕ の関係

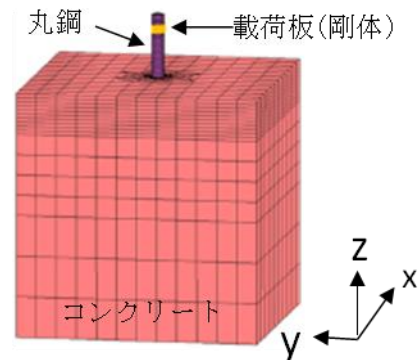


図-3 解析モデル図

($\phi=30\text{mm}$, $a=120\text{mm}$ の場合)

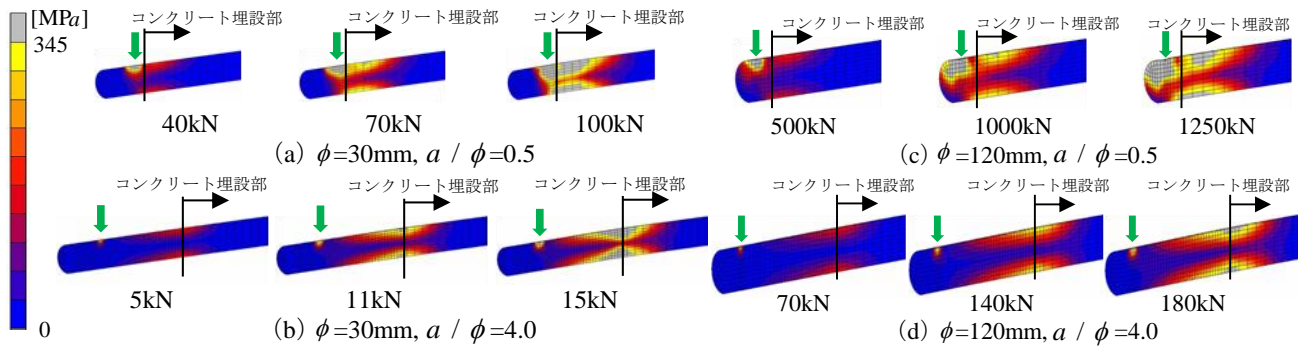
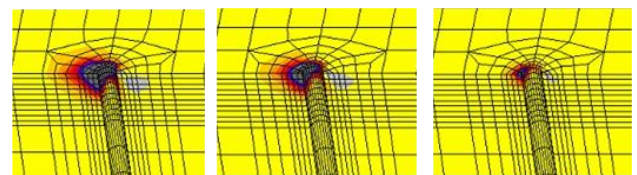


図-4 丸鋼のミーゼス相当応力分布図 (灰色：塑性域)

3.3 解析結果及び考察

図-4 に丸鋼の相当応力分布の推移図を示す。代表して a/ϕ が 0.5 と 4.0 の場合を載せる。図中の荷重は載荷面で受けた反力を示している。 a/ϕ が 4.0 の場合では、丸鋼の直径に関わらず、埋設部界面に生じる曲げによる応力が支配的であることが確認できた。一方、 a/ϕ が 0.5 の場合では、載荷板との接触部の局所的な応力が拡大して



(a) $a/\phi=0.5$ (b) $a/\phi=1.0$ (c) $a/\phi=4.0$

図-5 丸鋼降伏時のコンクリートの最小主ひずみ分布図 (丸鋼埋設部拡大図)

いき、ある程度塑性化した後に丸鋼が曲げやせん断により抵抗することが確認できた。次に、その際の支持コンクリートの状態を把握するために、丸鋼近傍の最小主ひずみ分布図を図-5 に示す。代表して $\phi=30\text{mm}$ の場合を載せているが、図中の濃灰色箇所は最小主ひずみが圧縮破壊に相当する 0.0035 に達した要素を表す。 a/ϕ によって耐力が異なることから、ここでは、丸鋼の埋設部界面が降伏し始めるときに着目して a/ϕ による影響を検討した。この図より、いずれのケースでも、丸鋼の埋設部界面が降伏し始めるときには丸鋼周辺の支持コンクリートに圧縮による大きなひずみが生じ、圧縮破壊を起こす可能性があることが確認できた。さらに、 a/ϕ が小さくなると支持コンクリートにおいて圧縮破壊に相当する値を超える領域が大きくなる傾向にあることが確認できた。

4. 現行の設計との比較

地震により橋梁に外力が発生する場合を想定し、アンカーバー1本に作用する設計地震力 (518.3kN) を想定荷重とした際、全 6 ケースの中で $\phi=120\text{mm}$ 、 $a=60\text{mm}$ と $\phi=120\text{mm}$ 、 $a=120\text{mm}$ の 2 ケースは道路橋示方書に記載されている設計基準に基づく曲げ応力度、せん断応力度、合成応力度、支圧応力度の全ての照査を満たすことが確認できた。しかし、設計基準を満たす 2 ケースに想定荷重が作用する際の解析結果として丸鋼のミーゼス相当応力分布図 (図-6 参照) をみると、載荷部近傍においては明らかに降伏している箇所が見受けられ、支圧部においては現行の照査法では明らかとされない丸鋼の局所的な応力の発生が確認された。

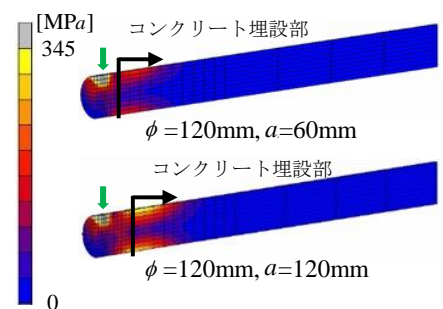


図-6 想定荷重時の丸鋼のミーゼス相当応力分布図 (灰色：塑性域)

5. まとめ

本研究により、横荷重を受ける片持ち丸鋼において、 a/ϕ によって応力状態が大きく異なり、また、 ϕ が異なる場合でも a/ϕ が等しければ同様な応力状態となることが明らかとなった。また、コンクリートの最小主ひずみ分布をみると、 a/ϕ が 0.5、1.0 と小さく支圧の影響を無視できないような場合にはコンクリートの圧縮破壊に対しても注意が必要であることがわかった。さらに、現行の支圧応力度照査には検討の余地があり、 a/ϕ が小さい場合には特に注意が必要であることがわかった。