

巻厚不足の覆工に対する内巻補強工の効果に関する一考察

(一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 ○井野 裕輝 正会員 真下 英人
飛島建設(株) 技術研究所 阿部 隆英 正会員 石田 雄太郎

1. はじめに

矢板工法で建設されたトンネルにおいては、覆工コンクリートの施工に起因して設計巻厚が確保されていないケースが見られる場合がある。巻厚が不足する場合の対策として、耐荷力の向上を目的とする場合は、内面に新たなコンクリートを打設する内巻補強工が用いられることが多い。しかし、必要とする内巻コンクリートの厚さや強度は経験的に決められることが多く、その設定方法については確立されていない。このため、本研究では、内巻コンクリートの厚さや強度が内巻補強工の施された覆工の耐荷力に及ぼす影響を数値解析により検討した。

2. 解析手法

図-1は解析に用いたモデルを示したものである。対象とするトンネルは、外径 11mで上半断面、既設覆工の厚さは 20 cm、強度は 18N/mm²とし、内面に厚さと強度を変化させて無筋の内巻コンクリートを設置した。解析ケースを表-1に示す。

解析は弾塑性の FEM 解析により行った。解析に用いたコンクリートの応力とひずみの関係を図-2に示す。圧縮挙動に関しては、コンクリート標準標準式方書のモデル¹⁾を用い、引張挙動に関しては Hordijk モデルを用いた。解析コードは FEA-NX を用いた。既設覆工と内巻きコンクリートの界面においては、はく離は生じず一体化されている条件で解析を行った。

荷重は鉛直方向に作用する等分布荷重とし、荷重を徐々に増加させた。トンネル周辺の地山は引張無視の地盤ばねでモデル化し、地山の地盤反力係数 kr は式(1)により求めた。地山の変形係数 E_g は 1,000MPa(CII 地山相当)とした。

$$kr=1.7\times\alpha\times E_g\times D^{-3/4} \tag{1}$$

α : 補正係数(=1), E_g : 地山の変形係数, D : トンネル幅

3. 解析結果

図-3は、解析から得られた荷重と変位の関係を示したものである。解析は、ある荷重に達すると解が発散し始め、荷重の増加が見られなくなったため、本研究ではこのときの荷重値を覆工構造全体の耐荷力と考えた。内巻の厚さ 10cm、強度 18N/mm²のケース 1 は、厚さ

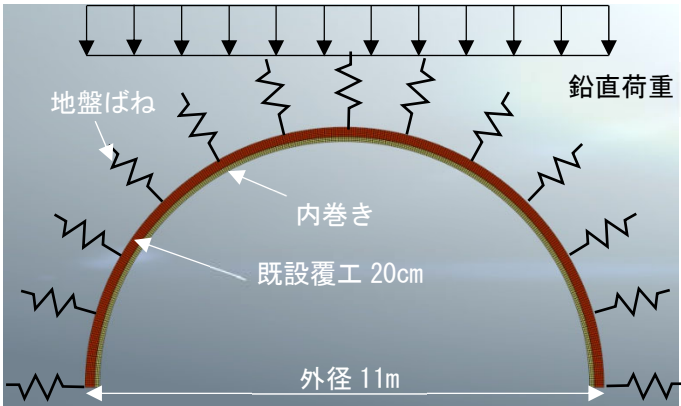


図-1 モデル図

表-1 解析ケース

ケース	内巻厚さ [cm]	圧縮強度 f'_{ck} [N/mm ²]	ϵ'_{peak} [μ]	引張強度 f_t [N/mm ²]	ϵ_{tu} [μ]
1	10	18	2000	1.8	100
2	5	18	2000	1.8	100
3	5	36	2000	3.6	100
4	20	18	2000	1.8	100
5	10	36	2000	3.6	100

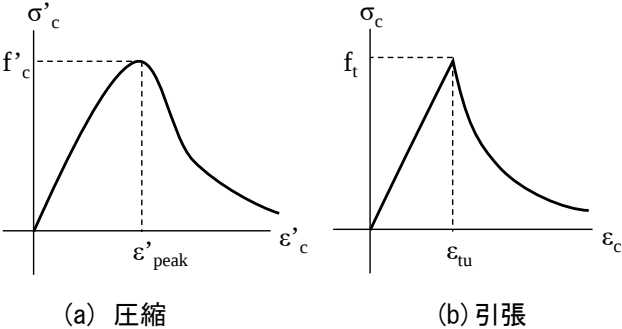


図-2 コンクリートの応力とひずみの関係

30cm、強度 18N/mm²の覆工となり、耐荷力は 927kN/m²となる。内巻の厚さ 5cm、強度 18N/mm²のケース 2 は、厚さ 25cm、強度 18N/mm²の覆工となるため、耐荷力は 757.5kN/m²と厚さ 30cm の覆工となるケース 1 より劣るが、内巻の厚さが同じ 5cm で強度 36N/mm²のケース 3 は、耐荷力、変形特性はケース 1 の場合とほぼ同等となる。同様に、内巻きの厚さ 20cm、強度 18N/mm²のケース 4 は、厚さ 40cm、強度 18N/mm²の覆工となり、耐荷力は 1278kN/m²となるのに対して、内巻の厚さ 10cm、強度 36N/mm²のケース 5 は、全体厚さは 30cm にしかならないが、耐荷力と変形特性はケース 4 とほぼ同等になる。このように、内巻コンクリートの厚さが薄い場

キーワード 山岳トンネル、内巻補強工、2次元有限要素解析

連絡先 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3145

(一社) 日本建設機械施工協会施工技術総合研究所 TEL 0545-35-0212

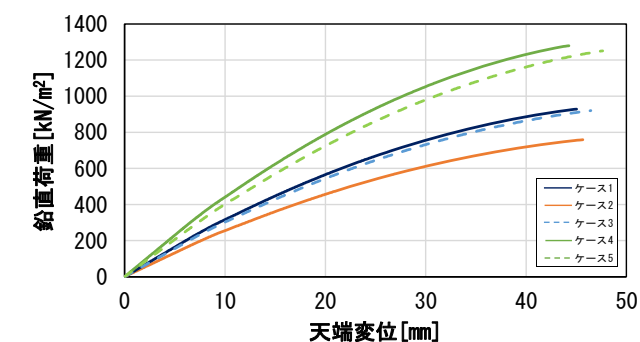
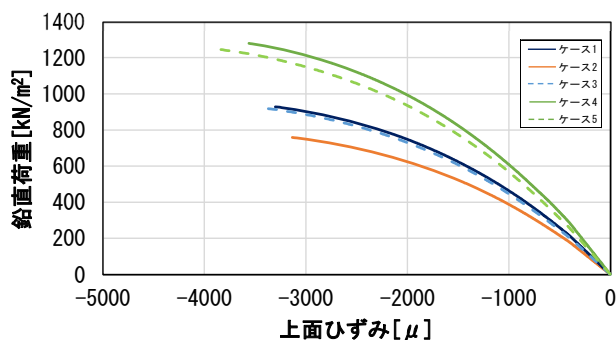
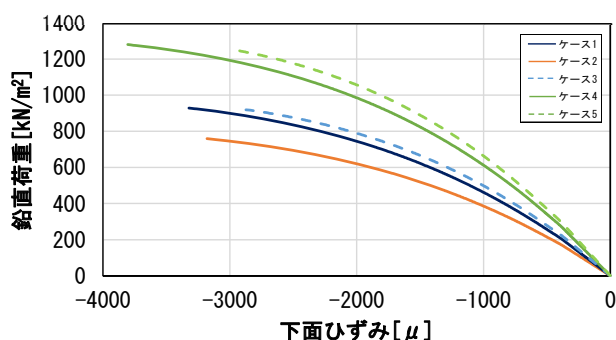


図-3 鉛直荷重—天端変位



(a) 天端部上面



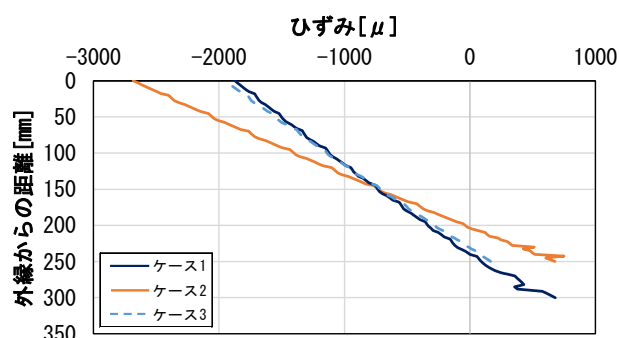
(b) 肩部下面

図-4 鉛直荷重—ひずみ（圧縮縁）

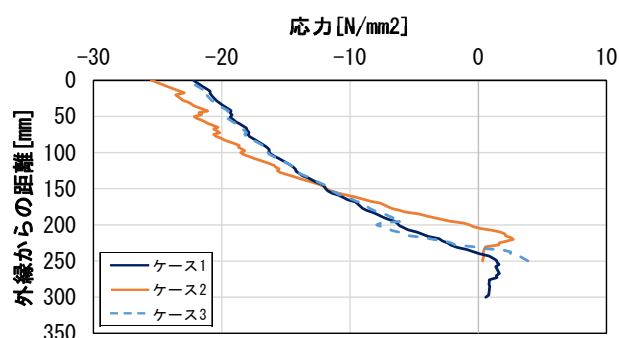
合でも強度の大きなものを用いることにより、厚いものと同程度の耐荷力を確保できる場合があり、今回対象としたケースでは、内巻の厚さと強度の積が同一であればその効果はほぼ同一となる。

図-4 は、天端部と肩部での荷重と圧縮縁のひずみとの関係を示したものである。過去の研究から、鉛直方向の等分布荷重が作用する場合は、天端部および肩部において曲げ圧縮破壊が生じることにより、構造の安定性が失われることが明らかとなっている。天端部と肩部との比較では、各ケースとも同一荷重に対して天端部の方が大きなひずみが発生していること、また、天端部と肩部ともに同一荷重に対してケース 1 と 3、4 と 5 はそれぞれ同程度のひずみが発生していることが分かる。

図-5 は、荷重が 720kN/mm^2 のときの、天端部における断面内のひずみ、応力分布をケース 1,2,3 について示したものである。荷重 720kN/m^2 は、内巻の厚さ 5cm、



(a) ひずみ分布



(b) 応力分布

図-5 天端部のひずみ・応力分布（鉛直荷重 720kN/m^2 ）

強度 18N/mm^2 のケース 2 の耐荷力に相当する。内巻の厚さ 5cm 場合でも、強度 36N/mm^2 のケース 3 の応力分布、ひずみ分布は内巻きの厚さ 10cm、強度 18N/mm^2 のケース 1 とほぼ同一の値を示すのに対して、ケース 2 の圧縮縁のひずみ、応力はこれらのケースよりも大きな値を示し、引張領域もケース 3 より大きい。また、ケース 3 に対して、圧縮強度は変えずに、引張強度のみを 1.8N/mm^2 まで低下させたケースも実施したが、変化は見られなかった。さらに、ほぼ弾性範囲にあると考えられる荷重値が小さい時のひずみ、応力分布の比較をケース 1,2,3 に対して行ったが、荷重値 720kN/mm^2 のときとほぼ同様の傾向が見られた。したがって、内巻きに強度が大きいコンクリートを用いた場合の効果には、強度よりも圧縮側の剛性の大きさが影響を及ぼしているものと考えられる。

4. まとめ

内巻コンクリートの厚さが薄い場合でも強度の大きいものを用いることで厚い場合と同程度の耐荷力が得られ、内巻の強度と厚さの積が同一であれば、効果はほぼ同等となる場合があること、効果にはコンクリートの剛性の影響が大きいことが明らかとなった。今後は、既設覆工の厚さがさらに薄い場合や既設覆工と内巻工との一体化が確保できない場合の効果などについても検討を行う予定である。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編], 2017