

III-590

岩盤空洞掘削時に施工された吹付けコンクリートの温度応力解析

飛鳥建設(株) 技術研究所 正○藤原 雅博
 飛鳥建設(株) 技術研究所 正 近久 博志
 飛鳥建設(株) 技術研究所 正 中原 博隆
 飛鳥建設(株) 技術研究所 正 小林 薫

1. はじめに

トンネルや岩盤空洞の施工時に支保部材として用いられる吹付けコンクリートは、近年、施工機械や材料の改良等によって品質の向上が図られるようになり、地下発電所、岩盤貯油タンクおよび導水路トンネル等のように永久支保覆工として活用される事例も多くなってきている。こうした場合、岩盤掘削時に変位挙動を示す地山との相互作用やセメントの水和熱に起因する温度ひびわれ等が問題になってくる。ここでは、別途実施した吹付けコンクリートの内部発熱量の評価結果¹⁾と、吹付けコンクリートや岩盤の熱力学特性試験結果を基にして、岩盤掘削後に施工される吹付けコンクリートの岩盤拘束によって発生する温度応力の予測解析を実施し、施工厚さの違いが発生応力に与える影響について考察する。

2. 解析モデル

解析は、岩盤内に図-1に示すような空洞を掘削し、掘削面に吹付けコンクリートを一度に施工する場合を想定する。解析モデルは、図-1に示すように二次元有限要素モデル（4節点アイソパラメトリックス平面要素）とする。熱伝導解析時の境界は、周囲を断熱境界、掘削面を熱伝達境界とした。応力解析時の境界は、解析領域の上下を鉛直方向固定、側面を水平方向固定とした。

3. 解析条件

解析に用いる諸定数を表-1に示す。解析期間は吹付け終了後30日とする。

表-1 解析に用いる諸定数

項目	単位	岩盤	吹付けコンクリート
単位体積重量	ton/m ³	2.592	2.252
弾性係数	kg/cm ²	652,000	図-2
ポアソン比	-	0.271	0.2
圧縮強度	kg/cm ²	-	図-2
比熱	kcal/kg・℃	0.188	0.311
熱伝導率	kcal/m・h・℃	2.276	1.812
線膨張係数	μst/℃	8	9
内部発熱	℃	-	$49.0 \cdot (1 - \exp(-2.20 t^{1/2}))$
初期温度	℃	12.1	12.1
坑内温度	℃	-	12.1
熱伝達係数	kcal/m ² ・h・℃	-	10.0

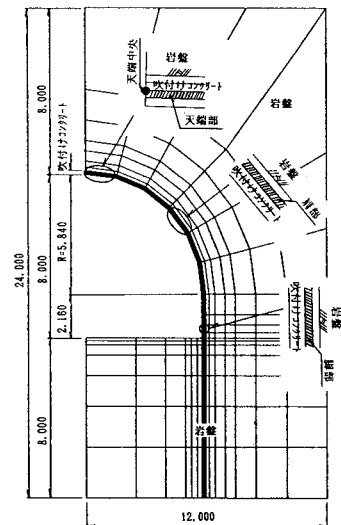


図-1 解析モデル

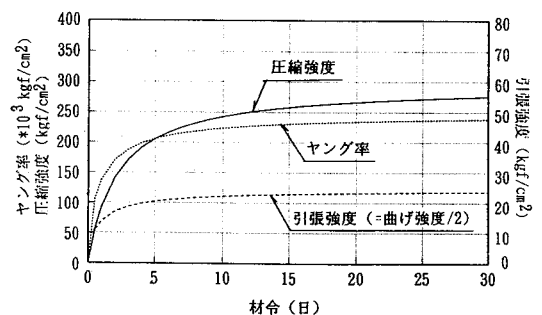


図-2 吹付けコンクリートの圧縮強度、ヤング率、引張強度

4. 解析ケース

表-2に示すように吹付けコンクリート厚さ 10, 15, 20 cm の 3 ケースについて、吹付けコンクリートに発生する温度応力解析を実施する。

表-2 解析ケース

ケース	吹付けコンクリートの厚さ
1	10 cm
2	15 cm
3	20 cm

5. 解析結果

各ケースの熱伝導解析結果の一例として、天端中央の温度の経時変化を図-3に示す。吹付けコンクリートの内部温度は、吹付け後に急激に上昇し、打設 0.5 日後に最大値を示し、その後次第に坑内温度付近にまで温度が低下する。

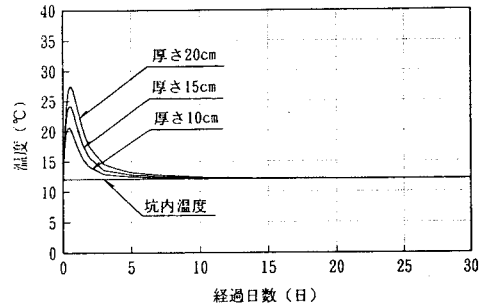


図-3 吹付けコンクリート温度の経時変化図（天端中央）

温度応力解析結果の一例として吹付け厚さ 20 cm の場合の天端、肩部、脚部の最大引張応力の経時変化を図-4に示す。引張応力は打設後2日後から発生し、天端部と肩部で同様な経時変化を示している。脚部は天端部より小さな値となっている。天端部での各解析ケースの応力変化を図-5に示し、打設30日後の天端部に発生する引張応力と吹付けコンクリート厚さの関係を図-6に示す。天端部に発生する温度応力は、吹付けコンクリートが厚いほど引張応力が大きい事が分かる。

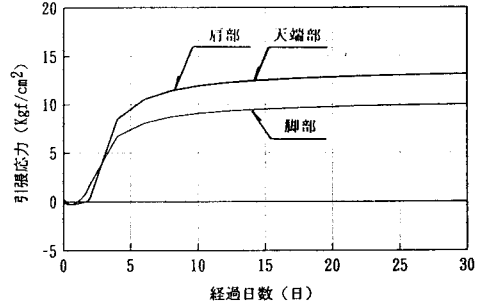


図-4 場所の違いによる引張応力の経時変化図（吹付けコンクリート厚さ20cmの場合）

6. おわりに

今回の解析結果より、岩盤拘束によって施工された吹付けコンクリートには温度応力として引張応力が発生する事が分かった。発生する引張応力は、施工厚さが増すほど大きくなるが、吹付け厚さ 20 cm で 13 kgf/cm² 程度になっており、引張強度 (24 kgf/cm²) より小さく、温度応力だけでは吹付けコンクリートにひび割れは発生しないことが分かった。

しかしながら、施工後の掘削に伴う地山変位、鋼製支保工の外部拘束およびジョイント部の応力集中等による引張応力の増加が考えられ、吹付けコンクリートはひび割れが入り易い状態にあると言える。

今回は、解析的な検討だけであるが、今後、現場での計測や評価を加える事によって、吹付けコンクリートの支保部材としての効果に付いて研究を進めたいと考えている。

（参考文献）

- 1) 中原博隆・近久博志・平間昭信・桜井春輔：逆解析手法を用いた吹付けコンクリートの内部発熱量の評価、土木学会第49回年次学術講演会、1994.9

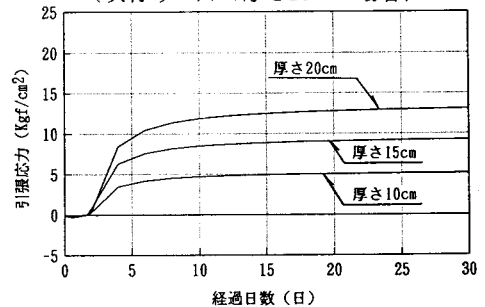


図-5 吹付けコンクリートに発生する引張応力の経時変化図（天端部）

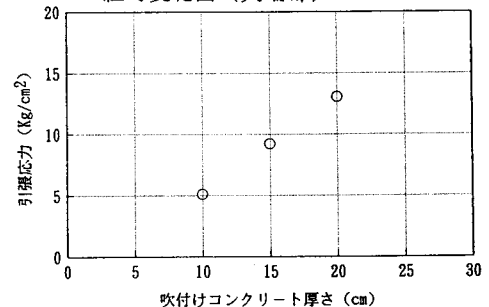


図-6 吹付けコンクリート厚さと発生する引張応力の関係