山岳トンネル覆エコンクリートのひび割れ発生パターン

鉄建建設(株) 正会員 ○川又 篤, 松岡 茂 東日本高速道路(株)関東支社 正会員 窪田賢司

1. はじめに

山岳トンネル覆エコンクリートのひび割れ発生原因の一つにコンクリートの収縮ひずみがある. 収縮ひずみ は環境条件(気温,湿度)の影響を受けることが知られていることから,覆エコンクリートのひび割れ発生パ ターンも季節変動があることが予想される. そこで,実トンネルの覆エコンクリートに発生したひび割れの調 査を行い,ひび割れ発生パターンの違いを FEM 解析で検討した.

2. 実トンネルのひび割れ発生パターン

施工中の実トンネルのひび割れ調査結果(調査年月 2010 年 1 月)を打設時のコンクリート温度とひび割れ 本数で整理したものを図-1 に示す.これを見ると、コンクリート温度 20℃を境にひび割れ本数に大きな差異 が見られる.なお、コンクリート打設は、終点側から起点側に向かって行われており、期間は 2008 年 12 月か ら 2009 年 7 月である.したがって、終点側と起点側とでは約 7 ヶ月もの差異があり、終点側の方が乾燥収縮 ひずみは大きいものと考えられる.しかしながら、コンクリート温度が高い夏季に打設し、打設からの材齢の

短い起点側の方が、ひび割れ本数が多 い. コンクリートは,温度降下により 温度収縮し,乾燥により乾燥収縮する. よって,高温多湿の気象条件下で夏季 施工の覆工は,打設後は冬季に向かっ て収縮する傾向となるため,ひび割れ として顕在化したものと考えられる. そこで,乾燥収縮と季節変動による温 度収縮を考慮した FEM 解析でひび割 れ発生パターンを検討した.



3. 覆エコンクリートの収縮ひずみ

図-1 トンネルニ次覆エのコンクリート温度とひび割れ本数

図-1 に示すケース1ではコンクリート打設とひび割れ調査の月が同一であるため、季節変動の影響は考慮せ ず乾燥収縮ひずみのみとし、ケース2では乾燥収縮ひずみと温度収縮ひずみの両方を考慮した.

乾燥収縮ひずみを算定するために,最初に綾野¹⁾らが提案している手法に基づいて,JIS A 1129 に準拠した 100×100×400mmの供試体の乾燥収縮ひずみ測定から逆解析を行い,コンクリートの拡散係数,フィルム係数 及び収縮係数を算定した.この値を用いて,覆エコンクリート内の水分分布および乾燥収縮ひずみを FEM 解

析で求めた. 解析における乾燥面は, 覆工内面側のみの一面とした. また, 坑内湿度はひび割れ調査時の当該地域の1月平均湿度 62%で あると仮定し,乾燥材齢は実際の施工時期に基づいてケース1で 364 日, ケース2で199日とした. 解析の結果, 覆工表面での乾燥収縮 ひずみはケース1で 556μ, ケース2で 527μ であった.

ケース2における季節変動による温度収縮ひずみは、熱伝導解析 により求めた.地山温度を当該地域の年平均温度13.8℃とし、坑内 温度をコンクリート打設時の当該地域の6月平均温度20.6℃と設定



キーワード 覆工コンクリート, 収縮ひずみ, ひび割れ

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設(株) Tel. 0476-36-2355

し,計算により覆工温度が安定状態となった時点を初期値と設定した. その後,坑内温度がひび割れ調査時の当該地域の1月平均温度2.5℃ に低下した時のひずみを温度収縮ひずみとした.この計算による温度 収縮ひずみ約128 μ を乾燥収縮ひずみに加えると,図-2に示すように 乾燥収縮のみのケース1よりもケース2の収縮ひずみ大きくなった. 図-2に示すケース2の覆工表面での収縮ひずみは655 μ である.

4. 解析によるひび割れ発生パターン

コンクリート打設時期の異なる覆工コンクリートのひび割れ状況 を検討するため、三次元 FEM により温度応力解析を行った.トンネ ル形状は二車線断面を想定し、覆工厚 300mm、S.L.以上の曲率半径 R=5,200mm、S.L.以下の曲率半径 R=7,800mm、スパン 10,500mm とし た.対称性からモデルは 1/2 モデルとした.また、図-1 に示すように インバートの拘束が無い場合、ひび割れ本数が少ないことから、拘束 条件はインバートの有無についても検討した.覆工背面については、 地山の拘束が全くない条件とした.なお、計算モデルは、各要素にひ び割れが1本発生する分布ひび割れモデルとした.

図-3 にインバートによる拘束を考慮した場合のひび割れ発生パタ ーンを示す.計算では、コンクリートの引張強度と弾性係数の関係か ら 89.2 µ でひび割れが発生するものと判定し、ひび割れを灰色で示 した.乾燥収縮ひずみのみを考慮したケース1と比較して、温度の季 節変動も考慮したケース2の結果は、側壁部にインバートの拘束と思 われる軸直交方向のひび割れが多数発生している.インバートの拘束 が無い図-4 では、側壁部の軸直交方向のひび割れが発生していない. したがって、側壁部の軸直交方向のひび割れは、インバートの拘束に 起因する特徴的なものと判断される.

今回の解析結果によると、ひび割れは収縮ひずみの増加に伴って増 加する傾向が見られた.そのため、乾燥収縮ひずみによりある程度の 収縮ひずみが蓄積されている場合には、季節変動による温度収縮によ りひび割れの発生が誘発される可能性があることが確認できた.

5. まとめ

コンクリートのひび割れ発生メカニズムは、本報告で検討した項目 以外にクリープ等の影響を受けることが知られているが、ここでは非 常に簡略化してひび割れの検討を行った.結果を以下にまとめる.

(1) 覆エコンクリートでは、夏季に施工した場合、気温が低下する冬季には乾燥収縮ひずみに加えて温度収縮 ひずみが増加するため、ひび割れが増加することを確認できた.

(2) インバートの拘束によるひび割れは、主に側壁部に生じ、その方向は軸直交方向であることがわかった. 冬季にひび割れが増加する傾向を示した本解析結果は、実トンネルで調査した結果と傾向が一致している. しかしながら、季節変動による温度収縮ひずみは制御できないことから、コンクリートの乾燥収縮ひずみ低減 等によるひび割れの低減策を検討することが重要と言える.

参考文献 1) Toshiki AYANO, Kenji SAKATA and Folker H. WITTMANN: Moisture Distribution, Diffusion Coefficient and Shrinkage of Cement-Based Materials, J. Material, Conc. Struct., Pavements, JSCE, No.634, V-45, pp.387-401, 1999.11



(1) ケース1(乾燥収縮のみ)



(2)ケース2(乾燥収縮+温度収縮)
図-3 ひび割れ発生状況
(インバート有り)



図-4 ひび割れ発生状況 (乾燥+温度収縮,インバート無し)