高水圧下の凍結地盤内に注入可能な高性能裏込め注入材の開発　その２
―　実機試験結果報告　―

戸田建設株式会社　　正会員　○小林　　修
戸田建設株式会社　　和田　洋一
株式会社タック　　平原　直樹

1. はじめに

現在，首都圏では鉄道や道路，上下水道整備を目的としたシールド工事での大深度施工が増加している．大深度化に伴い高水圧下での施工となるため，発進到達防護工として凍結工法が採用される場合が多い．凍結地盤内に裏込め材が注入されると低温下での注入となるため，強度不足や裏込め材中の水分の凍結膨張によるひび割れなどが起こることが懸念される（**写真-1**）．そこで，裏込め材中に気泡を含むことで水分の凍結膨張による影響を抑制し，解凍後に必要強度を確保することができる新たな裏込め材を開発した．

写真-1　凍結時の裏込め材の表面状況

本稿では，本裏込め材の施工性の確認として実機サイズの試験装置を使用した高水圧下での充填性能確認試験を行ったのでその結果を報告する．

表-1　高性能裏込め材の 1m^3 当りの配合（設計基準強度 1.0N/mm^2(7 日強度)）

A 液(910L)								B 液 (90L)
CB 液				気泡				
硬化剤 (kg)	助剤 (kg)	安定剤 (kg)	水 (L)	起泡剤 (kg)	水 (L)	空気 (L)	比重 (A 液)	塑性 調整剤
350	20	3.5	485	0.61	29.7	273	0.98	90L

※）裏込め材に含まれる空気量は 30%

2. 試験概要

2.1　裏込め材の材料と配合

表-1 に本試験での裏込め材の配合を示す．配合試験で確認した凍結中でひび割れない空気量 30%を含む配合とした．

2.2　試験装置

図-1 に本試験での試験装置を示す．本試験では，シールド外径 1,800mm，セグメント外径 1,350mm のシールドを再現した長さ 1m の 2 本の鋼管を使用して，その隙間（厚さ 213mm）に裏込め材を打設しその充填性を確認した．

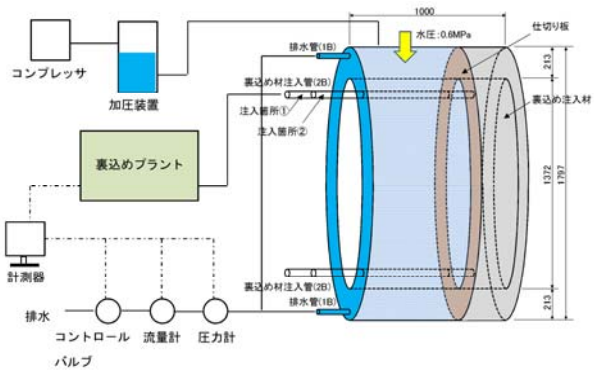

図-1　試験装置概要図

図-2 に裏込め材の打設フロー図を示す．本裏込め材は高水圧下で空気量 30%を含む必要がある．0.6MPa の高水圧下で 30%の空気量（273L）を含むためにはボイルの法則に従うと大気圧下では 7 倍の空気量（1,911L）を含む必要がある．しかし，多量の空気を含む裏込め材を製造することは困難であるため，打設箇所の圧力と同等の加圧した空気を使用して裏込め材を製造することで高水圧下で 30%の空気量を確保できる構造とした．CB 液，B 液は各タンクから注入ポンプにて圧送した．圧送圧力は，試験の設定圧力（＋0.05～0.1MPa 程度）となるように調整

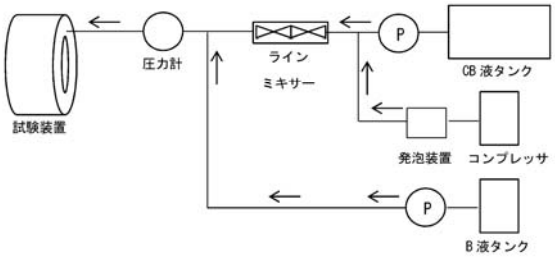

図-2　裏込め材打設フロー図

キーワード：シールド，裏込め材，凍結
連絡先　戸田建設（株）土木工事技術部　東京都中央区京橋 1-7-1　TEL03-3535-1675　FAX03-3535-1524

し圧送した．裏込め材の打設流量は，CB 液，気泡，B 液の合計流量が 20L/min となるよう各溶液流量を調整して打設した．裏込め材の打設に伴い装置内の排水を行う必要があるが，装置内の水圧を一定に保つためコントロールバルブにより水圧を 0.6MPa に保ちながら排水ができる構造とした．

2.3 試験方法

表-2 に試験ケースを示す. 装置内に 0.6MPa の水圧を作用させ，装置奥より仕切板を 20mm/min（空隙量 20L/min）の速さで移動させながら裏込め材を打設した. 1 日目は注入箇所①より幅 500mm，2 日目は注入箇所②より残りの幅 300mm を打設した．3 日目は試験装置上部を解体し，目視にて裏込め材の出来形を確認した．その後 1 日目，2 日目に打設した箇所からそれぞれ供試体を採取し，2 日目から 7 日間 20℃の恒温室で供試体を養生した後一軸圧縮強度を測定した. 目標強度として 7 日強度で 1.0N/mm^2 以上とした．

表-2 試験ケース

項目	1 日目	2 日目
水圧	0.6MPa	
打設流量	20L/min	
仕切板移動速度	20mm/min	
裏込め厚	213mm	
打設延長	500mm	300mm
注入箇所	注入箇所①	注入箇所②

3. 試験結果

3.1 1 日目，2 日目の打設状況

表-3 に 1 日目と 2 日目の裏込め打設量における標準配合との比較を示す. 1 日目，2 日目における気泡量を A 液に対する割合で表すと 32.2～33.2%程度であり，標準配合の 30%と比較して 2.2～3.2%程度気泡量が多い結果となった．したがって，実機サイズでの裏込め材の打設では，0.6MPa という高水圧下においても空気量が約 3%程度の誤差で打設できることが確認できた．

表-3 1 日目，2 日目の打設状況と標準配合との比較

打設日	項目	CB 液体積 (L)	気泡体積 (L)	B 液体積 (L)	合計 (L)	A 液に対する気泡量の割合(%)
1 日目	打設量	326.0	162.0	48.0	536.0	33.2
	設計配合	341.4	146.3	48.2	536.0	30.0
2 日目	打設量	202.0	96.0	28.0	326.0	32.2
	設計配合	207.7	89.0	29.3	326.0	30.0

写真-2 出来形全景

写真-3 打設長確認

3.2 出来形確認

写真-2～4 に裏込め材の出来形状況を示す．裏込め材が密実に充填されていることが確認できた．裏込め厚は，設計値どおり 213mm あることが確認でき，裏込め材が硬化後においても収縮していないことを確認した．

写真-4 裏込め厚確認

3.3 一軸圧縮強度

表-4 に 1 日目と 2 日目の裏込め材の供試体の 7 日養生後の一軸圧縮試験結果を示す．1 日目の一軸圧縮強度は平均値で 1.43N/mm^2，2 日目で 1.38N/mm^2 を示し，両方とも目標値以上あることを確認した．

表-4 一軸圧縮試験結果

供試体番号	一軸圧縮強度(N/mm^2)	
	1 日目	2 日目
①	1.31	1.59
②	1.75	1.13
③	1.23	1.43
平均値	1.43	1.38
目標値	$\sigma_7 \geqq 1.00$	

4. まとめ

実機サイズの試験装置における高水圧下での高性能裏込め材の充填性能確認試験を行った結果，0.6MPa の高水圧下においても必要空気量である 30%を確保して打設することが可能であり，必要強度を満足する裏込め材を打設することが可能であることが確認できた．

今後は，実現場において試験施工を行う予定である．

【参考文献】建設省総合技術開発プロジェクト－地下空間の利用技術開発報告書（1992）：建設省，（一財）土木研究センター．