レジンコンクリートライニングシステムの開発

竹中土木　正会員　○近 信明　日本ｼﾋﾞｯｸｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ　正会員　斉藤 正幸
日本高圧ｺﾝｸﾘｰﾄ　正会員　石川 隆司　武田薬品工業　非会員　大槻　敬

１．はじめに

近年，公共事業のコスト縮減が求められている．シールド工法においてもその方策の一つとして二次覆工省略が進んでおり，二次覆工省略に適した工法が数多く開発されている．従来，二次覆工はトンネル用途において，防食，防水，内面平滑等を主目的として施工されてきた．そのため，二次覆工を省略する場合は，二次覆工が受持つ機能を一次覆工に付加させる必要がある．

本報告では，下水道用ヒューム管に用いられているレジンコンクリートをセグメントに適用したレジンコンクリートライニングシステムの開発概要について述べる．本開発は，下水道のように高い腐食抵抗性を必要とするような環境条件においても二次覆工省略を可能とし，仕上がり内径が 2400～5000mm 程度の下水道シールドトンネルにおいて，建設工事費の縮減を図ることができる．

表 1 レジンコンクリートの特性

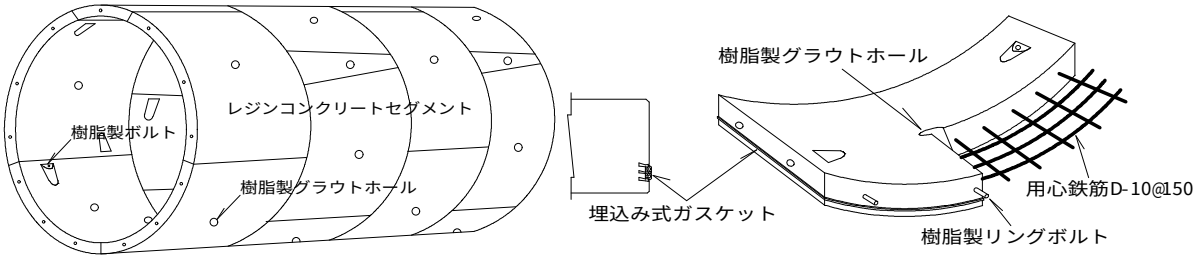
強度発現が早く早期脱型，出荷ができる
圧縮強度が大きい：850～950kgf/cm^2
曲げ強度が大きい：200～250kgf/cm^2
耐薬品性・耐酸性・耐アルカリ性に優れる
水密性が良く，透水性が小さい
耐摩耗性に優れる
粗度係数が小さく内面平滑性が良い

２．レジンコンクリートライニングシステムの概要

⑴ レジンコンクリートライニングシステムの特徴

レジンコンクリートはセメントコンクリートの結合材であるセメント水和物に代えて，不飽和ポリエステル樹脂を結合材として用い，骨材と練りまぜ硬化したものであり，セメントコンクリートに比較して表 1 のような優れた特性を持つ．これらの特性をセグメント構造に合理的に活用した場合，表 2 に示すライニングシステムが考えられる．

表 2 レジンコンクリートライニングシステムの特徴

概要図	
構造	・ 本体は曲げ強度を有効に利用し無筋構造とし，従来の RC セグメントと同等の厚さで耐力が確保できる． ・ 引張強度が高いため乾燥収縮，施工時荷重によるひび割れが少ない密実な構造が確保できる． ・ 用心鉄筋を配置することで，脆性的な破壊防止対策を得ることができる． ・ 継手は地盤条件に応じてボルトレスや，金具継手等を選択できる．
耐久性	・ 耐薬品性・耐酸性・耐摩耗性が高く二次覆工を省略できるため，掘削外径が縮小できる． ・ ボルトおよびグラウトホールは樹脂製部材を適用できるため，本体以外の防食性も高い． ・ シール材は埋込み式の水膨張複合ガスケットを使用し，高い止水性を確保できる．
内面平滑性	・ 粗度係数が n=0.010 程度と小さいため，管路の流下能力が高い．
工事費 工期	・ レジンコンクリート材料費が高いものの，掘削断面の縮小効果等から従来工法と比較して 10%程度の工事費縮減が可能である． ・ 二次覆工省略に加えてボルトボックスの穴埋め工程も省略できるので，工期短縮が可能である．

⑵ レジンコンクリートセグメントの製造方法

レジンコンクリートは樹脂を結合材とするためワーカビリチーが極端に悪く，通常の振動締固めでは製造が困難で

キーワード：シールドトンネル，セグメント，二次覆工省略，レジンコンクリート
〒104-8234　東京都中央区銀座 8 丁目 21-1　TEL：03-3542-6321　FAX：033544-1259

あった．また，セメントコンクリートに比して硬化収縮が大きいため必要な精度を得ることも難しかった．そこで，材料面では最適な樹脂の種類と配合量を実験等により検討した．製造面ではコンクリート二次製品の製造方法として広く普及している遠心力締固めにより，セグメントの寸法精度の確保および品質の安定性を確保することが可能となった．図 1 に製造方法の概要図を示す．遠心力締固めでは，約 1 リングを同時に製造することが可能で，セグメント外縁面の仕上げ作業が不要となるため，セグメント製造作業の省力化と連続生産が可能となる合理的な製造方法であるものと考えられる．

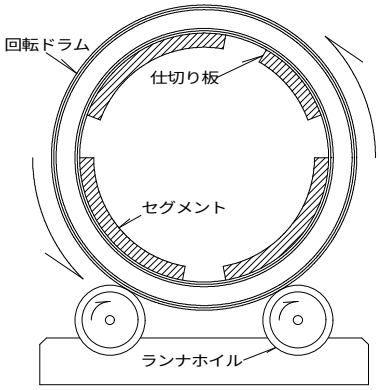


図 1　遠心力締固め製造方法

3．レジンコンクリートセグメントの曲げ要素実験

レジンコンクリートセグメントの設計用物理定数を得ることを目的として，角柱試験体による曲げ要素実験を行った．表 3 に実験のパラメータを示す．試験体は図 2 に示すように，遠心力締固めにより製造した．レジンコンクリートセグメントの適用範囲を，セグメント厚さが 125mm～250mm と設定しているため，その寸法効果特性を曲げ実験により確認した．また，遠心力締固めでは，骨材の遠心力方向への移動による強度異方性が予想されたので，図 2 に示すように，正曲げ，負曲げ方向にそれぞれ載荷して，曲げ強度を確認した．

表 3　実験のパラメータ

レジン量	9%，15%
試験体寸法(cm)	4×4×16，15×15×53
試験体の載荷方向	正曲げ，負曲げ

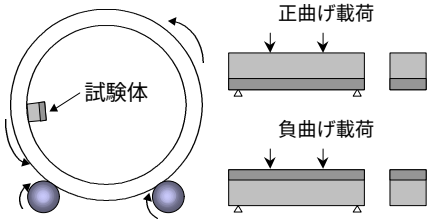


図 2　曲げ載荷概要

図 3 に試験体寸法の違いによる結果を示す．その結果から，試験体寸法が約 1/4 になることで，曲げ強度が 1.3～1.5 倍大きくなり，レジンコンクリートの曲げ強度に寸法効果が存在することが確認できた．

図 4 に載荷方向の違いによる結果を示す．その結果から，正曲げは負曲げの約 1.7 倍の曲げ強度があり，遠心力締固めによって強度異方性が生じることが確認できた．一方，レジン量による違いは，負曲げの場合は差がなかったものの，正曲げの場合はレジン量が 9%から 15%に増加すると曲げ強度が約 1.2 倍大きくなることが確認できた．

試験体の破壊断面を観察すると，遠心力方向に骨材が偏り，その反対側にレジン層が集中しているのが確認できた．これは，引張強度の高いレジンが正曲げにおける引張縁に集中していることを示しており，負曲げより正曲げの方が曲げ強度が大きいものと考えられる．

以上の実験結果から，遠心力締固めによるレジンコンクリートセグメントの設計用物理定数を設定するに当たり，次のように設定した．

①曲げ強度はセグメント厚さ相当の試験体により評価する

②設計曲げ強度は曲げ強度の小さい負曲げ載荷によって評価する

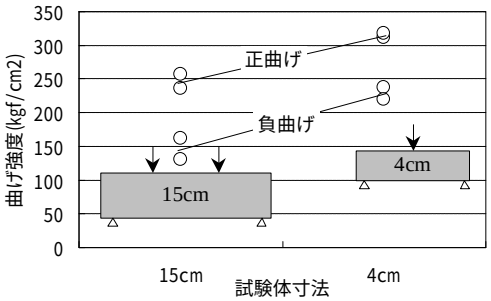


図 3　試験体寸法による違い

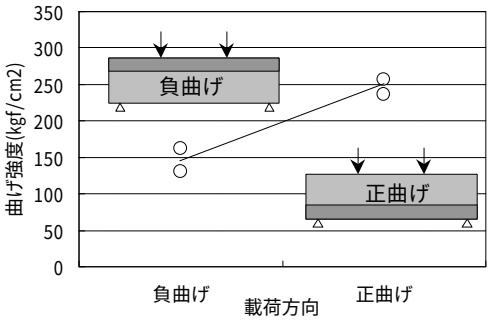


図 4　載荷方向による違い

4．おわりに

今回，レジンコンクリートセグメントは強度試験の他，耐久性試験等の結果からも二次覆工省略に対して優位性のあることが確認できた．今後は，遠心力締固め製造方法の改善や材料の配合検討を実施し，曲げ強度の増加と変動幅の縮小を図っていく予定である．

なお，本開発に対し貴重な御助言を頂いた早稲田大学教授小泉淳先生に感謝の意を表します．

【参考文献】 1)小柳：レジンコンクリートの現状，コンクリート工学，Vol.31，No.4，1993.4
2)林，山田，斉藤，小泉：遠心力締固めによるセグメント製造方法の開発，土木学会論文集，No.534，Ⅵ－30，1996.3