

シンガポールにおけるセグメント設計に関する一考察

大成建設(株) 正会員 ○竹田 智
大成建設(株) 正会員 浅野 浩史

1. はじめに

シンガポール東部に位置するチャンギ空港と西部のジュロン地域を結ぶ全長約 50km の地下鉄新線クロスアイランド線の建設が 2021 年より開始されている。その中で CR105 工区は、チャンギ空港敷地、及び空港敷地直下をシールドマシンにて 3.2km 掘進する工事であり、且つ、シンガポールにて初めての大断面シールド工法が採用された。本稿では、その内、トンネルシールドセグメント設計に焦点をあて、その特徴を紹介する。

2. セグメントタイプ

シンガポール地下鉄工事における一般的なセグメントは表 1 のように分類される。とりわけ、2021 年 11 月に SFRC(Steel Fiber Reinforced Concrete)のシンガポールにおける基準『SS674:2021』が発行され、今後は、多くの地下鉄工事の基準書として採用されていく。また、Steel Fiber(鋼繊維)と鉄筋の組み合わせたセグメントを通称 Hybrid Segment(表 1 の 3.)と呼んでいる。

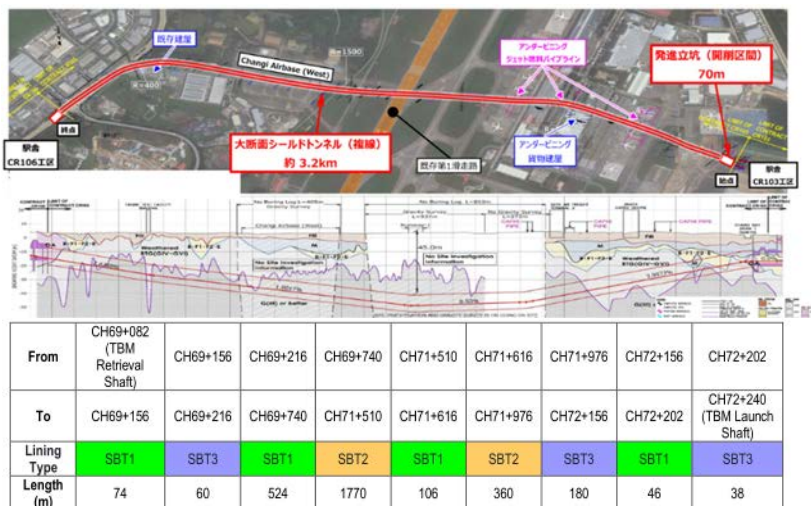


図 1 当該工区のセグメントタイプ

表 1 シンガポールにおけるセグメントタイプ

セグメントタイプ	セグメント特徴	通常径トンネル	大口径トンネル
1. 鋼繊維補強鉄筋コン SFRC	40kg/m ³ の鋼繊維	実績有	今回採用 (SBT1)
2. SFRC + Ladder Matt	40kg/m ³ の鋼繊維+割裂防止筋	実績無	今回採用 (SBT2)
3. SFRC + Reinforcement	40kg/m ³ の鋼繊維+主筋・配力筋	実績有	今回採用 (SBT3)
4. RC セグメント	通常の RC 構造	実績有	今回採用しない

3. セグメント設計上の 3 要素

国内のシールドセグメント設計と比較して、少なくとも次の 3 つの特徴が挙げられる。

① 鋼繊維の発達(材料の品質向上)

a) 1300N/m² の引張強度

表 2 の 2013 年から現在 2022 年にかけて、材料自体の品質向上が図られたが、未だに要求仕様は 1300N/m² である。市場或いはプロジェクト単位では、最低でも 1500N/m² が採用されている。実際には 1800N/m² が汎用的で、要求仕様の変更が今後なされていくと言われている。

b) 引張割裂強度

引張強度同様に、材料の品質向上に伴い、引張割裂強度も設計者及びサプライヤー間では Min. 6.0N/mm² 以上でも性能上問題がないと考えている。実際、PUB(公益事業省)プロジェクトでは、引張割裂強度 7.4N/mm² が提案されている。上述引張強度とは若干異なり、これまでの実績と限られた試験報告からは 4.5N/mm² がしばらく要求仕様として継続されると言われている。しかしながら、水面下ではプロジェクト毎に引張割裂強度を 4.5N/mm² よりも大きな値にする動きが見られている。

キーワード SFRC セグメント, 鋼繊維, 割裂照査, 引張割裂強度

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1 丁目 25 番 1 号 新宿センタービル 大成建設(株) 国際支店土木部

TEL 03-5381-5336 FAX 03-3345-8355 E-mail : tkdstr00@pub.taisei.co.jp

c) 残留曲げ強度値

一方で、Fr1、Fr4に関しては、材料の品質向上に伴い、要求仕様も改善されていることがわかる。

表 2 SFRC に関する要求仕様

項目	2013 年要求仕様 設計値 (N/mm ²)	2021 年 CR105 要求仕様 設計値 (N/mm ²)	備考
圧縮強度	60	60	C50/60 の表記 BS EN12390-3
引張割裂強度	4.5	4.5	BS EN 12390-6
比例限界値 (LOP)	4.2	5.0	BS EN 14651
残留曲げ強度値 (Fr1)	2.8	5.2	BS EN 14651
残留曲げ強度値 (Fr4)	1.4	2.0	BS EN 14651
引張強度 要求仕様 実現可能な引張強度	要求仕様 1300 1100-1500 の範囲	要求仕様 1300 1800-2200 の範囲	鋼繊維メーカーへの ヒアリング

(註) Fr1 は「クラック幅 0.5mm 時の残留曲げ強度」、Fr4 は「クラック幅 3.5mm 時の残留曲げ強度」である。

以上から、a)、b)の特徴が仮に改善されたと仮定すると、我々コントラクター側には少なくとも、

- (1) 現在の 40kg/m³ 混入している鋼繊維を 30kg/m³ 程度に低減
- (2) 割裂防止筋を入れる表 1 の 2. の SFRC + Ladder Mat の区間を低減

というメリットが生まれてくることが分かる。

② 全土被り荷重での検討

設計初期段階で議論になるのが、「Terzaghi 緩み土圧による算定が適用できないか」という点である。結論としては、シンガポールの地下鉄工事においては、客先 Civil Design Criteria に従い、どれだけ良地盤であったとしても、全土被り荷重にて設計検討をすることになっており、緩み土圧を熟知している設計コンサルタントであったとしてもこの姿勢は変えないようである。

③ 割裂照査

表 1 の 2. SFRC+Ladder Mat (割裂防止筋) はあまり耳にしないセグメントタイプである。図 2 の照査方法は一般的であるが、全土被り荷重での検討(軸力卓越)及びピーク時の値を適用する、所謂、二重に安全側の計算となっている。当該プロジェクトでは、セグメント間継手が Ladder Mat の対象となった。

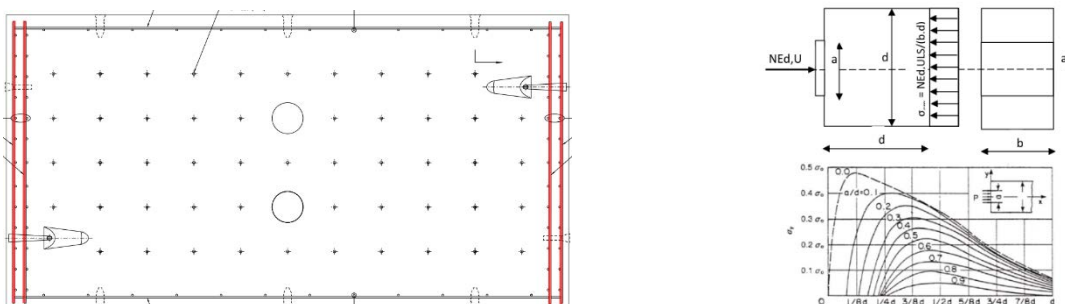


図 2 Ladder Mat と割裂照査

4. おわりに

今後、シンガポール地下鉄におけるセグメント設計は SFRC セグメントを中心に展開される可能性が高いため、本稿で述べた過去との要求仕様の比較が、考察の一助となれば幸いです。

参考文献

- ・コンクリート工学 海外工事の設計・施工(2017年 55 巻 5 号): 鋼繊維補強コンクリート(SFRC)セグメントを活用したシンガポール地下鉄工事 荒木 俊雄、岩崎俊