

シンガポール地下鉄工事における SFRC セグメント設計の特徴

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 掘進する工事である。本稿では、その内、2022 年 9 月に通知された SFRC セグメント設計ガイドラインの背景と特徴を紹介する。

2. SFRC セグメントの位置付け

シンガポール地下鉄工事 CR105 工区のセグメントタイプは表 1 のように分類される。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、2022 年 9 月には BCA (Building and Construction Authority: 建設庁) から稼働中プロジェクトへの施行が通達された。今後は、この基準に沿ってセグメント設計がされるが、ここではその特徴を押さえる。

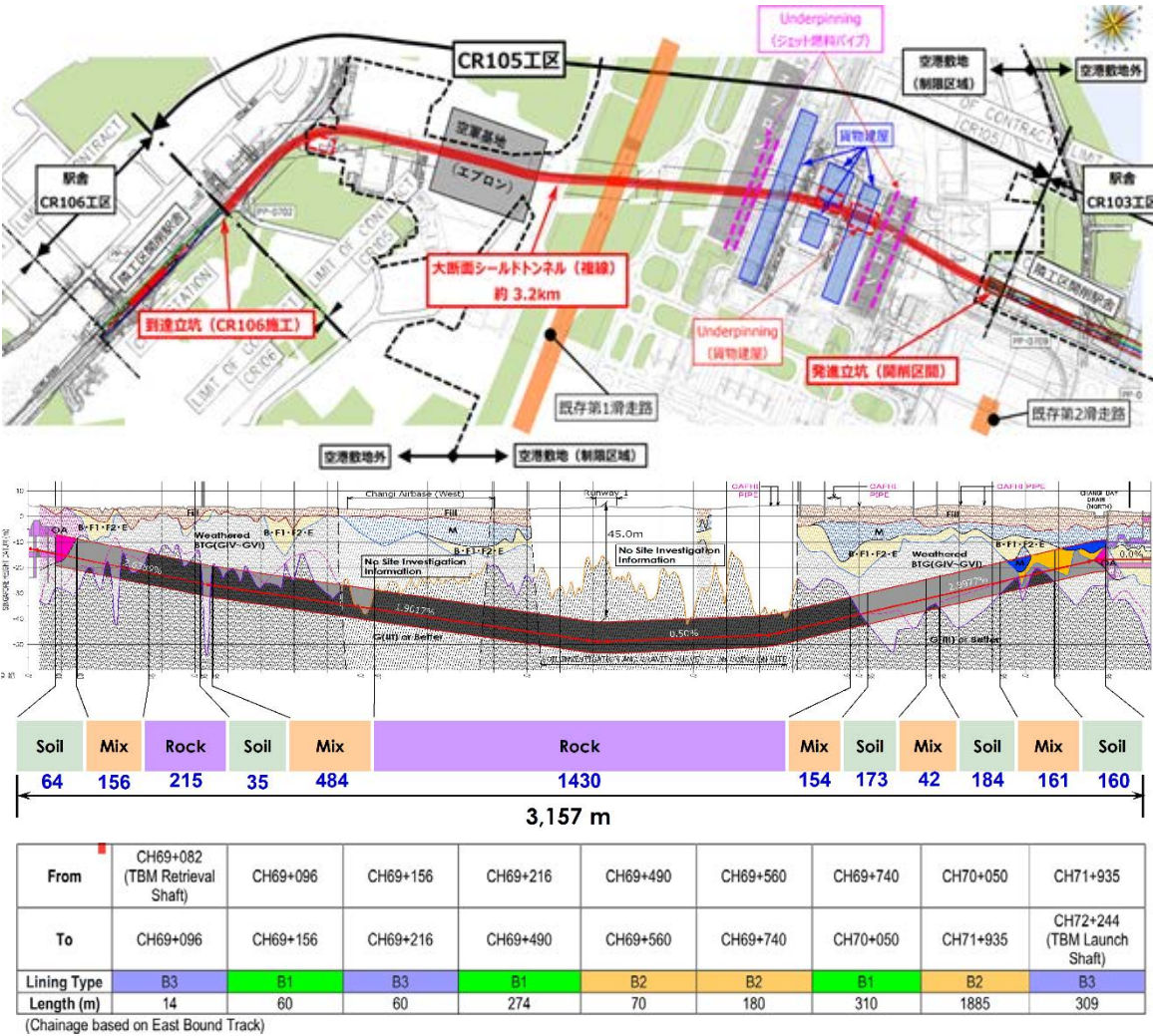


図 1 CR105 工区平面・縦断線形及びセグメント割付図

キーワード SFRC セグメント設計, 鋼繊維, 残留曲げ強度値, 残留曲げ強度値の比

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

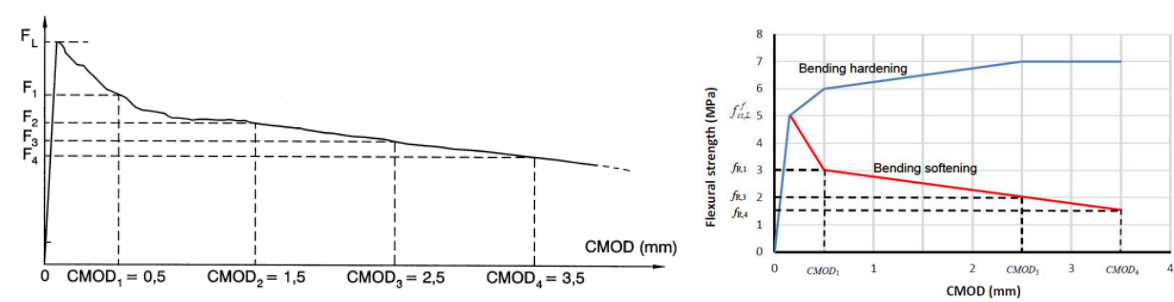
表 1 シンガポール CR105 工区セグメントタイプ

セグメントタイプ	セグメント特徴	構成則の規定
1. 鋼繊維補強鉄筋コン SFRC	40kg/m3 の鋼繊維のみ配置	SS674:2021 Guideline
2. SFRC + Ladder Matt	40kg/m3 の鋼繊維と割裂防止筋を配置	SS674:2021 Guideline
3. SFRC + Reinforcement	40kg/m3 の鋼繊維+主筋・配力筋	EC2: 通常の RC セグメント設計と同じ

①鋼繊維の発達に伴う残留曲げ強度値の変遷

a) 従来と SS674:2021 施行後における残留曲げ強度値

SS674 の母体である Fib Model Code 2010 等の文献では一般に図 2 左の Strain-Softening が採用されており、一般にこの曲線が CMOD (Crack Mouth Opening Displacement) 0.5mm, 1.5mm, 2.5mm, 3.5mm と目開きに起因していることから我々としても理解がしやすい。一方、鋼繊維の品質向上に伴い、BEKAERT の DRAMIX を例にすると Strain-Hardening の挙動を示すことが確認されている。



(註) $F_{R,1}$ は「クラック幅 0.5mm 時の残留曲げ強度」、 $F_{R,3}$ は「クラック幅 2.5mm 時の残留曲げ強度」である。

図 2 Strain-Softening (Bending Softening) と Strain-Hardening (Bending Hardening)

b) SFRC セグメント設計のポイント

応力-ひずみ関係の構成則を BS EN 1992-1 (Eurocode 2) に示しているが、 $F_{R,3}$ と $F_{R,1}$ の比を元に圧縮強度が以下のように規定された。これは、端的に言う以下のように下限値と上限値を決めていることになる。

For fibre reinforced concrete without bar reinforcement, the design compressive strength may be taken as:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_t \tag{3.11}$$

where α_{cc} is a coefficient accounting for long term effects and of unfavourable effects due to the way in which the load is applied.

The value of α_{cc} may be taken as:

$$\alpha_{cc} = 0.30 + 0.5 f_{R,3} / f_{R,1} \tag{3.12}$$

where $0.60 \leq \alpha_{cc} \leq 0.85$.

- $\alpha_{cc}=0.85$ (通常の RC 構造物として設計)
- $\alpha_{cc}=0.60$ (無筋コンクリートとして設計)

これまで、シンガポールでは SFRC の設計を無筋コンクリートとしたため、SS674 制定により我々施工者にとってコンクリート配合を含め、SFRC セグメントを使用する機会が広がったと言える。

②実施工における試験配合の結果

CR105 における試験配合の 1 つの結果 (60 供試体) は以下になる。

- ・鋼繊維のタイプ : BEKAERT DRAMIX 3D80/60BGP (引張強度 1800MPa) ・鋼繊維の混入量 : 40kg/m3

表 2 試験配合における残留曲げ強度値結果 (MPa)

$F_{R,1}$	$F_{R,2}$	$F_{R,3}$	$F_{R,4}$	fct	$F_{R,3} / F_{R,1}$
5.51	7.06	7.13	6.64	5.03	1.29

3. おわりに

今後、「地震国でない国」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ため、本稿で述べた「鋼繊維の引張強度 1800-2200MPa の世界」での設計が実施されるため、その考察の一助となれば幸いである。

参考文献

- ・Design Guide for FIBRE-REINFORCED CONCRETE STRUCTURES to Singapore Standard SS674:2021 by Tan Kiang Hwee