

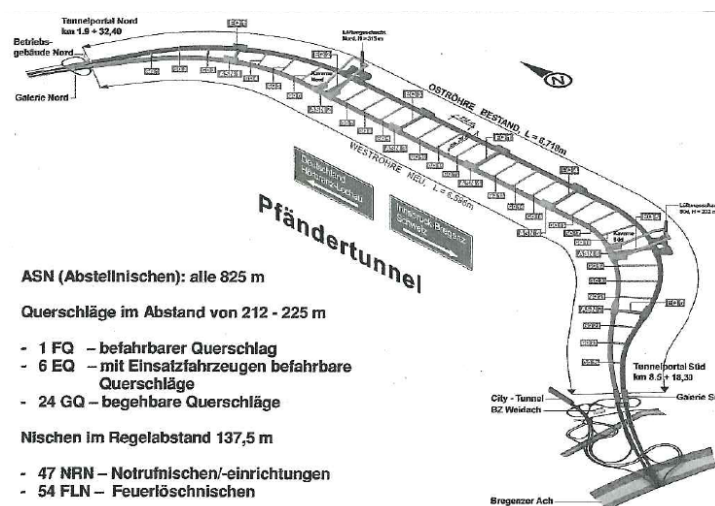
表題：Planning and Tendering Stages for the 2nd Tube of the Pfänder Tunnel

(プフェンダートンネル二期線の計画・入札段階)

本稿では、交通量増加に対応するためのプフェンダートンネル二期線（西側）の計画・入札状況が紹介されている。2003年に発注された二期線工事では2006年9月にNATMに加えTBMによる掘削も計画された。工事を受注したBreton- und Monierbau GmbH/Alpine Salzburg JVは2007年9月から径約10m、長さ約6.6km、最大土被り350mの道路トンネルを掘削している。2012年中頃には掘削が完了し、2013年中頃には一期線、二期線とも供用される予定。工学的な問題点は1) 粘土マールの膨潤変形、2) 環境面への配慮（排気ガス処理、安全確保）の2つである。

地質は、新第三紀の礫岩、砂岩、マール、粘土マールからなる。粘土マールが卓越するトンネル北側坑口付近では、一期線掘削時に最大300mmの膨潤変形を経験している。このため、一期線工事ではインバートに400mmの鉄筋コンクリートと、膨潤量に応じて定めた強度のロックアンカー補強（長さはトンネル径程度）を施した。二期線工事でも設計段階で一部のNATM区間、TBM区間でそれぞれ250-450kPa、500kPa程度の膨潤圧が予想されているが、地質の状態変化が場所によって大きいため、ロックアンカーの代わりに前者ではインバートで500mm以上の鉄筋コンクリートと側壁・クラウン部で350mmの内側シェル、後者では550mm以上の厚さのモノコック構造としている。

一期線の入札時には、NATM工法がより経済的であったが、二期線ではTBMも比較できるほどになっている。そのため、どちらの工法にも利用できるように検証、責任、リスク請負、コストなどに関して入札事項が定められている。入札では、コスト（94%）に加えて「質」（6%）が評価され、施工中のコンベア輸送長は「環境面」の条件として加えられている。



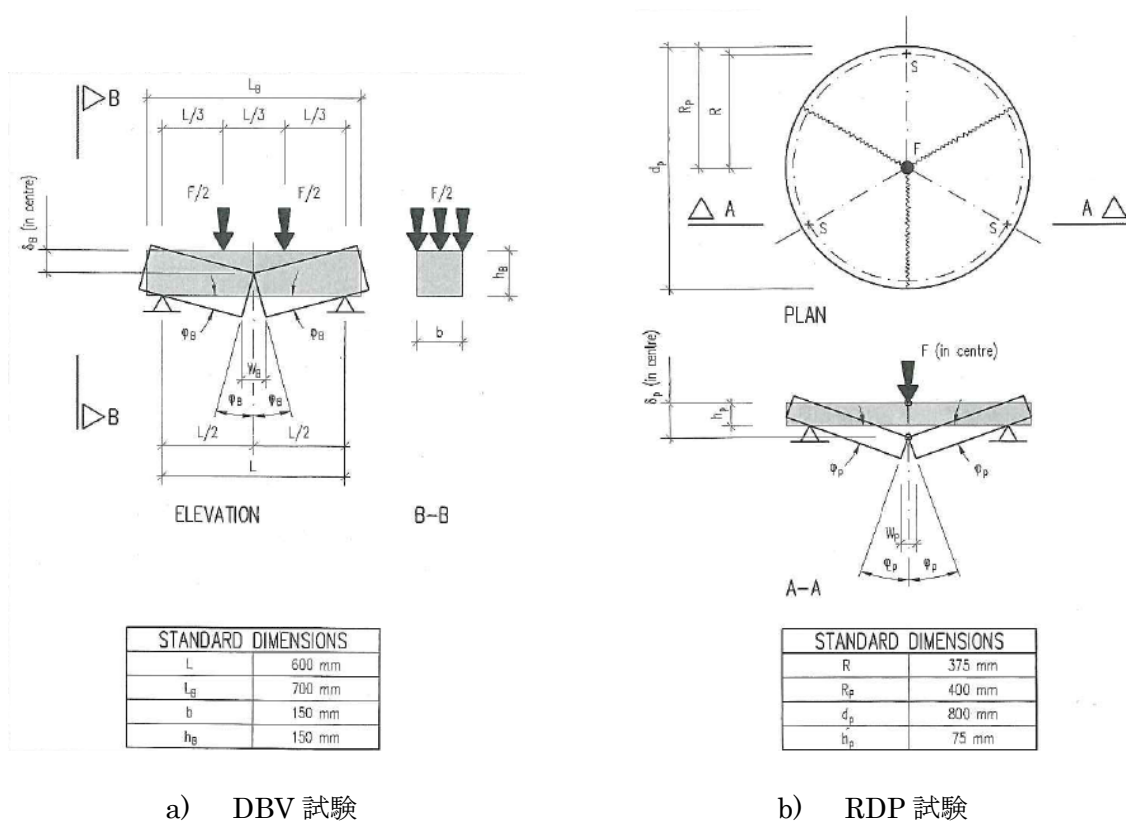
参考図 トンネル内の標識と連絡坑

表題： Determining equivalent tensile Strengths of Steel-Fibre Shotcrete

(鋼製ファイバー入り吹き付けコンクリートの等価引張り強さの決定)

最近ではトンネルの一次覆工としてスチールファイバー入りの吹き付けコンクリート (SFRS) を用いるが、施工後水圧の影響を考慮する必要がない場合などには、二次覆工にも SFRS を用いることが多くなってきている。これは、SFRS 打設に対して型枠工事が必要でないこと、一次覆工と同じ機器・方法を用いることが出来ること、また特にクラウン部で緩みや剥がれ落ちが少ないことなどの理由による。しかし、設計吹きつけ厚さはプロジェクト対応で決定される場合が多く、一般的な方法が確立していない。

本稿では、コンクリートビームと円盤型の試料を用いた試験 (それぞれ DBV 試験、RDP 試験) から求まる曲げ強度と等価な引張り強さと、オーストリアで施工されたトンネルの支保に用いられたファイバーコンクリートの等級の相関係数を求めて、既往の研究結果との比較検討を行っている。検討したプロジェクトに対しては品質管理等に有用ではあるが、一般性を引き出すには更なる検討が必要である。



参考図 試験セットアップ

参考表 曲げ強度試験法の概要

Ref	Standard/Guideline	test setup	test result analysis
[1]	DAFSTB-Richtlinie (Guideline), Stahlfaserbeton (Steel Fibre reinforced Concrete SFRC); Schlussentwurf – Final version, Germany, 7-2008	DBV beam 150 x 50 x 700 mm 2 supports, span 600 mm third point load F/2 max. center deflection 3.5 mm	Leistungsklasse Li (performance class) which is the characteristic post-crack equivalent flexural strength [MPa] for SLS (L1) and ULS (L2) $F_{Rk, Li}$, derived from residual loads F_{Rk} ($\delta = 0.5$ mm) and F_{Rk} ($\delta = 3.5$ mm) by statistical analysis
[2]	EN 14651, Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural tensile strength LOP, residual, Europe, 12-2007	CMOD beam 550 x 150 x 150 mm with bottom notch T = 25 mm 2 supports, span 500 mm center load F max. center deflection 4 mm	post-crack equivalent flexural strength assessed for residual loads at deflections CMOD 0.5 ($\delta = 0.47$ mm), CMOD 1.5 ($\delta = 1.32$ mm), CMOD 2.5 ($\delta = 2.17$ mm) or CMOD 3.5 ($\delta = 3.02$ mm)
[3]	ASTM C1550 - 05, Standard Test Method for Flexural Toughness of Fibre Reinforced Concrete (FRC), USA, 2005	RDP round panel diam 800 x 175 mm 3 third circle pivot supports diam 750 mm center load F max. center deflection 45 mm	toughness W which is the total energy absorption [J] for deflection range from $\delta = 0$ mm (origin) to δ as specified (e.g. $\delta = 5/10/20/40$ mm)
[4]	ASTM C1609/C1609M - 05, Standard Test Method for Flexural Performance of Fibre Reinforced Concrete (FRC), USA, 2005	Standard beam 350 x 150 x 150 mm or beam 350 x 100 x 100 mm 2 supports, span 300 mm third point load F/2	residual equivalent flexural strength f_{Rk} , derived from loads P_{Rk} at post-crack deflections L/600 ($\delta = 0.5$ mm) and L/150 ($\delta = 2.0$ mm)
[5]	ÖVBB guideline, Spritzbeton (shotcrete), Austria, 7/2004	EFNARC square panel 600 x 600 x 100 mm line support at whole perimeter, with span 500 x 500 mm center load F (area 100 x 100 mm) max. center deflection 25 mm	toughness class E1–E3 dependent on the total energy absorption [J] for deflection range $\delta = 0$ (origin) to $\delta = 25$ mm definition of 3 energy absorption classes E1–E3 for SFRC (aged 7 days) intended for use as temporary support with rock bolts
[6]	RILEM TC 162 TDF Test and design methods for steel fibre reinforced concrete α - δ -design method Final Recommendations, 2003, Europe	CMOD beam 550 x 150 x 150 mm with bottom notch T = 25 mm (saw cut) 2 supports, span 500 mm center load F max. center deflection 4 mm	post-crack equivalent flexural strength f_{Rk} derived from residual loads f_{Rk} at deformation CMOD _{0.5} = 0.5 mm ($\delta_{Rk} = 0.46$ mm) and CMOD _{3.5} = 3.5 mm ($\delta_{Rk} = 3.00$ mm)
[7]	ÖVBB guideline, Faserbeton (fibre concrete), Austria 3/2002	ÖVBB beam 500 x 150 x 150 mm 2 supports, span 450 mm third point load F/2 max. deflection 3.0 mm	fibre classes TG1–TG5 (SLS) and T1–T5 (ULS) dependent on post-crack mean equivalent flexural strength f_{Rk} , derived from the residual load at $\delta_{Rk} = 0.5$ mm for SLS and from the energy absorption between $\delta_1 = 0.5$ mm to $\delta_2 = 3.00$ mm for ULS
[8]	prEN 12488, Europe, 11-2002	(various)	equivalent flexural strength and/or energy absorption capacity (toughness) of a fibre reinforced slab
[9]	DBV-Merkblatt, „Stahlfaserbeton“ – code of practice „steel fibre reinforced concrete“, Germany, 10/2001	DBV beam 700 x 150 x 150 mm 2 supports, span 600 mm third point load F/2 max. deflection 3.5 mm	fibre class which is the residual equivalent tensile strength $f_{Rk, min}$ for SLS and ULS, derived from the post-crack energy absorption in the range from crack deformation δ_k to $\delta_k + 0.65$ mm (SLS) and until $\delta_k + 3.15$ mm (ULS) by statistical analysis
[10]	T 373 RTA, Test Method T 373 – Determination of the Toughness of a Fibre Reinforced Shotcrete Mix – RDP Test, Australia, 2/2001	RDP round panel diam 800 x 175 mm 3 third circle pivot supports diam 750 mm center load F max. center deflection 45 mm	toughness which is the total energy absorption [J] for deflection range $\delta = 0$ (origin) to δ as specified (e.g. $\delta = 0.72/4.33/10$ mm)
[11]	T 374 RTA, Test Method T 374 – Determination of the Toughness of a Fibre Reinforced Shotcrete Mix – Centrally loaded Beam Test, Australia, 5/1999	beam 550 x 125 x 75 mm 2 supports, span 450 mm central load F	flexural stress at peak (crack)
[12]	EFNARC: European specification for Sprayed Concrete, UK, 1996 and associated guidelines, UK, 1999	EFNARC square panel 600 x 600 x 100 mm line support at whole perimeter, with span 500 x 500 mm center load F (area 100 x 100 mm) max. deflection 30 mm	toughness which is the total energy absorption [J] for deflection range $\delta = 0$ (origin) to $\delta = 25$ mm definition of 3 toughness classifications a, b, c intended for use as temporary support with rock bolts
[13]	EFNARC: European specification for Sprayed Concrete, UK, 1996 and associated guidelines, UK, 1999	EFNARC beam 600 x 125 x 75 mm 2 supports span 450 mm third point load F/2 (150/150/150) max. deflection 4.0 mm	definition of 4 strength classes 1–4 and 4 deformation classes ($\delta = 0.5/1/2/4$ mm) dependent on the residual flexural stress at the specified post-crack deformation δ
[14]	SIA Recommendation 162/6, „Steel fibre concrete“, Société suisse des Ingénieurs et des architectes, Switzerland, Edition 1999	Circular or square slab dimensions variable dependent on fibre type and fibre length	Design value of the residual flexural strength f_{Rk} , derived from the energy absorption of the test sample between crack width $\theta = 0$ to $\theta = l_k$ (δ_k)
[15]	ASTM C-1018-97, USA, 1997 Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of FRC (outdated and replaced by ASTM C-1609)	preferred beam 350 x 100 x 100 mm (equals 14 x 4 x 4 inch) 2 supports, span 300 mm third point load F/2	toughness indices I_1, I_2, I_3 , which are obtained by dividing the total area (energy absorption) up to a deflection of 3.0 (5.5, 10.5) times the first-crack deflection by the area (triangle) up to the first crack
[16]	ASTM C-78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete, USA, 1994 (outdated and replaced by ASTM C-1609)	beam third point load F/2	Flexural stress at peak (crack)
[17]	JSCE SF-4, Method of Test for Flexural Strength and Toughness, Japan, 1984	beam 150 x 150 x 500 mm 2 supports, span 450 third point load F/2 max. center deflection 3 mm	equivalent flexural strength and toughness, derived by the total energy absorption (E_{Rk}) until $\delta = L/150$ ($= 3$ mm)