

第 02424 章 隧道噴凝土

1. 通則

•中華民國 94 年 12 月 31 日編定

1.1 本章概要

說明隧道及地下工程結構支撐所使用之噴凝土或鋼纖維噴凝土之材料、設備、配比設計、施工及檢驗等相關規定，本章有關規定亦適用於隧道洞口邊坡、明挖隧道或豎井之噴凝土或鋼纖維噴凝土。

1.2 工作範圍

1.2.1 噴凝土

1.2.2 鋼纖維噴凝土

1.3 定義

1.3.1 噴凝土為水泥、粗細粒料、水與化學摻料等產品依規定拌和後，以噴泵機具及特殊噴嘴，藉壓縮空氣噴布緊貼於施工面之混凝土。

1.3.2 鋼纖維噴凝土為水泥、粗細粒料、鋼纖維、水及化學摻料等材料依規定拌和後，以噴泵機具及特殊噴嘴，藉壓縮空氣噴布緊貼於施工面之鋼纖維混凝土。

1.3.3 乾拌法（Dry Mix Process）為製造噴凝土的方法之一，即水泥、粗細粒料與附加劑依規定配比在乾燥情況下拌和，送進乾式噴泵機具，速凝劑隨後加入拌和，藉壓縮空氣推送，水在最後噴布前才於噴嘴處加入，使噴凝土得以連續性施噴至工作面，乾拌法的粉塵量較大是其缺點。

1.3.4 溼拌法（Wet Mix Process）為製造噴凝土或鋼纖維噴凝土的方法，即水泥與粗細粒料依規定配比與水拌和，以拌和車運送給溼式噴泵機具，需要的附加劑（含速凝劑）加入拌和，藉壓縮空氣噴布緊貼於施工面，為避免拌和料在送料管或噴泵機具內發生速凝，亦可改在噴嘴處添加速凝劑，溼拌法無法依岩盤滲水量調整拌和水量是其缺點。

1.4 系統設計要求

噴凝土之施工方法無論採用乾拌法或溼拌法，及鋼纖維噴凝土採用溼拌法之施工方法，其成果皆須符合本規範之要求。

1.5 資料送審

承包商應於施工前提出噴凝土或鋼纖維噴凝土之配比，會同監造人員在施工前 30 天完成工地試噴及抗壓強度試驗。

1.5.1 品質管制計畫書。

1.5.2 施工計畫。

1.5.3 施工製造圖。

- 1.5.4 工作圖。
- 1.5.5 廠商資料。
- 1.5.6 各種材料樣品應提送二份。
- 1.6 品質保證
 - 1.6.1 提送監造人員認可之實驗機構檢驗合格，證明各項材料均符合規定。
 - 1.6.2 不論噴凝土或鋼纖維噴凝土均應依照監造人員認可之正確配比與方式拌和。
 - 1.6.3 依規定或監造人員指示，施作格板試驗與鑽心取樣，並作抗壓強度試驗。
- 1.7 運送、儲存及處理
噴凝土或鋼纖維噴凝土的運送、儲存及處理，應依第 03050 章「混凝土基本材料及施工方法」之規定辦理。
- 1.8 業主指示
對抽坍處或隧道開挖後呈不穩定開挖面，監造人員得視地質情況，指示承包商立即施噴噴凝土封面。

2. 產品

- 2.1 功能
噴凝土除當作隧道支撐構件外，可用來防止岩盤鬆弛、龜裂、風化與剝落，及加速岩拱效應的產生。
- 2.2 材料
 - 2.2.1 主要材料

(1) 水泥

噴凝土所使用之水泥為卜特蘭第 I 型或經監造人員認可之其他型水泥，品質須符合 CNS 61 R2001 或第 03050 章「混凝土基本材料及施工方法」之規定。

(2) 粒料

噴凝土所使用粒料應採自岩石、天然砂及礫石，潔淨且儘可能呈圓形，品質須符合 CNS 1240 A2029 之一般規：定或第 03050 章「混凝土基本材料及施工方法」之規定。粒料級配之規定詳如下表：

篩檢尺度 (mm)	通過重量百分率 (%)		
	最大粒徑		
	9.5mm	12.5mm	19mm
19.0 mm (3/4 吋)	—	—	100
12.5 mm (1/2 吋)	—	100	80~95
9.5 mm (3/8 吋)	100	90~100	70~90
4.75mm (No.4)	95~100	70~ 85	50~70

2.36mm (No.8)	80~100	50~ 70	35~55
1.18mm (No.16)	50~ 85	35~ 55	20~40
0.6 mm (No.30)	25~ 60	20~ 35	10~30
0.3 mm (No.50)	10~ 30	8~ 20	5~17
0.15mm (No.100)	2~ 10	2~ 10	2~10

(3) 水

用於養護、沖洗粒料與拌和之水不得含有過量之油脂、酸、鹼、鹽類有機物或其他有害於混凝土或鋼筋之物質。所含之氯化物（以 Cl 表示）不得超過 1,000ppm (0.1%)、硫酸鹽（以 SO_4^{2-} 表示）不得超過 1,300ppm (0.13%)。當其與使用蒸餾水拌和所產生之結果比較時，無論在何種情況下，水泥之凝結時間不得有 25%以上之變異，亦不得使砂漿在 14 天之抗壓強度減少 5%以上。用於養護噴凝土之水不得含有過多之雜質，使其變色或侵蝕其表面。

2.2.2 鋼纖維

鋼纖維之品質應符合 ASTM A820 TYPE I 之規定，其型式及尺度應適於噴凝土施工及能達到加強噴凝土強度要求者，並經由監造人員認可後方得使用。一般而言鋼纖維應符合下列要求：

- (1) 尺度：長約 2.5~4.0cm，直徑 0.5~0.8mm 之圓形斷面或等面積之他種斷面。
- (2) 抗拉強度：大於 3,450kgf/cm²。
- (3) 抗彎試驗：在不低於 16°C 溫度下可沿內半徑 3.18mm 之圓弧彎曲 90 度而不會折斷。

2.2.3 附加劑

附加劑之類型、品質及用量應符合下列規定，並經監造人員認可後，方後使用。

- (1) 速凝劑：應符合 CNS 12283 A2219 之規定，其氯化物含量不得超過速凝劑重量 1%。速凝劑之用量應予適量控制，避免 28 天後之噴凝土強度下降。
- (2) 化學附加劑：包括減水劑 (Water Reducing Admixture) 及強塑劑 (Superplasticizer)，其品質應符合 ASTM C494/C494M 之規定。
- (3) 輸氣劑：應符合 ASTM C260 之規定。
- (4) 矽灰 (Silica Fume)：鋼纖維噴凝土應添加矽灰，矽灰之品質應符合下列要求：
 - A. 細度：濕篩通過 #325 篩之重量百分比大於 90%。
 - B. 化學成分：二氧化矽 (SiO_2) 含量大於 85%；燒失量小於 8%。
 - C. 試驗方法：ASTM C311。

2.3 零件及附件

2.3.1 熔接鋼線網

加強噴凝土之鋼線網，其品質須符合 CNS 6919 G3132 之規定。

2.3.2 錨筋

錨筋使用#4 竹節鋼筋，其品質須符合 CNS 560 A2006 SD280 之規定。

2.3.3 洩水管

洩水管採用標稱或直徑為 20 至 60mm 之軟質塑膠管，直徑為 100mm 之硬質塑膠管半管，品質須符合 CNS 1296 K3003 或 CNS 1298 K3004 之規定或具有正字標記之產品。

2.4 設備

2.4.1 不論乾拌法或溼拌法噴凝土設備，皆應有正常的噴料速度且不漏料，噴料的速度可使噴凝土附著良好且反彈料少。

2.4.2 應依據噴凝土設備的製造規範提供足量、足壓與清潔乾燥的空壓氣。

2.4.3 送料管徑由試噴決定，送料管儘量直且曲度小，送料管口徑儘量一致。

2.4.4 鋼纖維噴凝土應採溼拌施工，其噴凝土設備包括鋼纖維加料器、噴嘴、送料管等及拌和設備應經監造人員認可後使用。

2.4.5 承包商應提供精確的計量設備，使各項材料重量能依照正確按配比拌和。

2.5 備品

對隧道開挖作業而言，噴凝土設備、拌和設備或計量設備的零件宜有備品或宜有備用設備。

2.6 設計與製造

2.6.1 承包商應於施工前，依機具設備能量，經監造人員會同試驗速凝劑凝結性質，提出配比設計，於試驗室試拌及工地試噴，均符合規定始得採用。

2.6.2 速凝劑凝結試驗 (Huber) 法：以不同的速凝劑用量拌和水泥漿，以 Huber 法測其凝結時間，速凝劑應低於水泥量之 4.5% 而能達到初凝時間 75 秒以內與終凝時間 150 秒以內，Huber 法摘述於後：

(1) 配比

水灰比=0.35 速凝劑視需用量而定。

(2) 拌和

於內徑 5.0cm 高 4.0cm 之試模上加裝套筒，置於底盤上，將拌和好之水泥與速凝劑倒入模中。在 2 秒內將水倒入模中，於 10±2 秒內用電動攪拌器攪拌均勻，並利用直徑約為 5cm 之有透氣孔之壓桿輕壓 (20 秒內完成) 後，取下套筒，刮平表面，開始用費開針 (Vicat Needle) 測其凝結時間。

(3) 溫度

在室溫 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 間進行。

(4) 凝結時間測定

A. 初凝時間：從加水開始計時，至費開針停留在距試體底部 3～5mm 止所經過之時間。

B. 終凝時間：從加水開始計時，至費開針停留在試體表面下 1mm] 內，所經過之時間。

(5) 其他相關規定按 ASTM C191 辦理。

2.6.3 噴凝土強度及配比設計

(1) 附加劑之使用量不得超過水泥用量 6%。

(2) 粒料總重量與水泥重量比不得超過 5：1。

(3) 試驗室之試拌每一配比應試拌 3 次，每次試拌每一試壓齡期應作 3 個試體，試體尺度為邊長 7.5cm 之正方體，每組試體應試壓 8 小時、72 小時及 28 天參種齡期之強度。

(4) 每一配比應試噴於 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 20\text{cm}$ 見方之合板或其他木模上，每一配比試噴 3 塊，於水平、垂直及仰面位置之試板上，每組試體應試壓 7 天與 28 天兩種齡期之強度。

(5) 試拌或試噴完成後其 3 個方塊試體平均抗壓強度應合於下列規定：

A. 8 小時應達 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

B. 72 小時應達 $140\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

C. 7 天應達 $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

D. 28 天應達 $250\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

除設計圖另有規定外，噴凝土方塊試體 ($7.5 \times 7.5 \times 7.5\text{cm}$) 28 天之規定配比抗壓強度為 $250\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，可以換算，相當於直徑比高為 1：2 之圓柱體規定配比抗壓強度 kgf/cm^2 為 $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，即相當強度約為 85%。

2.6.4 鋼纖維噴凝土強度及配比設計

(1) 除砂灰外之每一種附加劑使用量不得超過水泥用量之 5%。

(2) 粒料總重量與水泥重量比不得超過 5：1。

(3) 每立方公尺噴凝土之鋼纖維摻入量不得少於 60kg。

(4) 砂灰之用量原則上不少於水泥用量之 3%，承包商應依照製造廠商之說明書及施工前試驗成果，擬定其用量經監造人員認可後使用。

(5) 試驗室之試拌每一配比均應試拌 3 次，每次試拌應作 6 個試體，有關試體之製作應依 ACI 506.1R、506.5 或日本土木學會 JSCE-SF2 之規定辦理。每組試體試驗 1 天、7 天及 28 天齡期之強度，試驗方法應依 ASTM C42、ASTM C78 及 ASTM C109 或日本土木學會 JSCE-SF4、JSCE-SF5 之規定辦理。

- (6) 每一配比應試噴於垂直、仰面及水平等三處規定大小格板上，以便取樣作 7 天及 28 天之強度試驗、乾密度試驗、空隙體積試驗、吸水率試驗及韌性試驗。強度試驗及韌性試驗試體製作應依 ACI 506.1R、506.2 或 JSCE-SF3 之規定辦理，抗壓強度及抗彎強度試驗依 ACI 506.1R、506.2 或 JSCE-SF4 及 JSCE-SF5 之規定辦理，其最小韌性指數 I5 及 I10 以分別不小於 4.0 及 6.0 為原則。乾密度試驗空隙體積試驗及吸水率試驗應依 ASTM C642 之規定辦理，最小乾密度應達 $2,200\text{kg/m}^3$ ，其許可原則上不得大於 4%，空隙體積比不得大於 15%，吸水率不得大於 7%。
- (7) 抗壓強度試體與抗彎強度試體分別為：抗壓強度試體 $10\text{cm}\times 10\text{cm}\times 10\text{cm}$ ，抗彎強度試體 $10\text{cm}\times 10\text{cm}\times 36\text{cm}$ 。
- (8) 試拌或試噴完成後其三個方塊試體平均抗壓強度及抗彎強度應合於下列規定：
- A. 1 天之方塊抗壓強度應達 100kgf/cm^2 。
 - B. 7 天之方塊抗壓強度應達 220kgf/cm^2 。
 - C. 28 天之方塊抗壓強度應達 300kgf/cm^2 ；抗彎強度應達 50kgf/cm^2 。

2.7 工廠品質管制

- 2.7.1 不同廠牌之水泥與速凝劑之凝結時間及強度發展過程不相同，施工應採用與配比設計相同廠牌之水泥及速凝劑。
- 2.7.2 如須換用水泥或速凝劑廠牌，承包商應依規定重作配比設計，在重作配比未獲監造人員認可前，不得更換。
- 2.7.3 水泥與粒料應符合規定，依重量比作為配比設計標準，各項產品依照規定正確配比拌和，概不允許以體積比方式作為配比設計標準。
- 2.7.4 水泥與粒料若以機械乾拌，其拌和時間不得少於 2min。
- 2.7.5 噴凝土或鋼纖維噴凝土拌和料有下列任一種情形均應予廢棄，不得使用。
- (1) 水泥加入粒料後超過 30min 仍未拌和者。
 - (2) 自水泥投入拌和機，未維持連續攪拌，超過 60min；維持連續攪拌超過 90min 者。
- 2.7.6 噴凝土或鋼纖維噴凝土的拌和，應依第 03050 章「混凝土基本材料及施工方法」之規定辦理。

3. 施工

3.1 準備工作

在噴射工作開始之前，應將施工表面之鬆離碎片、污穢、油污或其他有礙噴凝土與施工面黏結之有害物徹底清除乾淨，若為良好岩盤面或前一

層噴凝土面應以高壓氣水噴洗潤溼。

3.2 安裝

3.2.1 噴凝土若以鋼線網加強者，應確實固定，以防施噴噴凝土時鬆動，其固定方式除設計圖另有規定外，鋼線網可安裝並錨碇於錨筋、岩釘、支撐鋼管或依監造人員核定認可方式辦理。

3.2.2 噴射面有滲水時，應依設計圖所示或監造人員指示，安裝洩水管並以急結水泥砂漿封堵，將滲水導開後方予施噴。

3.3 施工方法

3.3.1 如施噴之噴凝土厚度超過 15cm，則須分多層施噴，以達所需之最終厚度，次層之施噴須俟先前施噴層達到足夠強度可支撐所增加之施噴層後，儘快開始施噴。

3.3.2 鋼支保、頂拱繫條、鋼線網和其他補強構件，應如設計圖上所示完全沒入噴凝土內，所有鋼材之噴凝土保護層最少須達 2cm，噴凝土應與岩石表面凹處和角隅處完全密合。

3.3.3 兩鋼肋間之噴凝土面可允許呈凹面，唯高低差不得大於 10cm。

3.3.4 噴凝土之施工應參 ACI 506 規定辦理。

3.3.5 接觸防水層之噴凝土面須充分平滑、均勻，俾保持防水層完整，不致在防水層施工時或施工後損傷防水層，於 1.5 公尺範圍內表面高低差不得大於 10cm。如不能符合要求時，應加噴噴凝土至能符合要求為止。

3.4 示範及訓練

承包商應雇用對噴凝土工作有經驗之工人施工，施工期間，如監造人員認為噴凝土工人不稱職時，得要求更換，承包商應即照辦。

3.5 檢驗

3.5.1 噴凝土或鋼纖維噴凝土施工中之現場取樣與檢驗依下列格板試驗及鑽心試驗辦理。其檢驗方式係採用格板試驗或鑽心試驗，應視工程特性及現地條件另於契約中訂之。監造人員得視噴凝土或鋼纖維噴凝土強度之穩定度酌量調整試驗採樣頻率。鋼纖維噴凝土之現場取樣應參照 ACI 506.1R、506.2 或 JSCE-SF3 規定辦理。

3.5.2 格板試驗：每班或每噴 40m^3 或 500m^2 之噴凝土或鋼纖維噴凝土至少取樣一格板，格板之最小尺度為 $46\text{cm} \times 46\text{cm} \times 20\text{cm}$ ，其設置、施噴與養護均應與現場施噴者相同。試驗前至少浸水 40 小時，然後依需要從格板中切割試體。每一齡期每組試體均應有 3 個 7.5cm 之方塊試體或 3 個直徑為 7.5cm 之圓柱試體。試體於監造人員指定之齡期壓驗。同組之試體應取自同一格板。

3.5.3 鑽心強度：每班或每噴 40m^3 或 500m^2 之噴凝土或鋼纖維噴凝土，至少須由

其表面鑽取試體 1 組，每組有鑽心試體 3 個。鑽心試驗須依 ASTM C42 規定辦理，試體須在試驗前浸水 40 小時以上，並依監造人員所指定之齡期壓驗。鑽心試體之長度小於直徑 2 倍時，應依 ASTM C42 修正其抗壓強度，並以修正後之數值作為正式壓驗結果。

- 3.5.4 鋼纖維含量：每班或每噴 500m^2 之鋼纖維噴凝土，應作鋼纖維含量試驗 1 組，取樣數量、地點及試驗方法依監造人員指示及 JSCE-SF7 規定之沖洗分析試驗法辦理。

3.6 清理

每一次噴凝土工作完成後，所有回彈材料應立刻予以清除，特別是水平搭接處之噴凝土，由於分層與開挖順序不同，在施噴更低區域處之噴凝土前，所有回彈料必須清除，如有必要可用氣動鎚打除。

3.7 現場品質管制

- 3.7.1 噴凝土：三個圓柱試體或鑽心試體之抗壓試驗平均值須等於或大於 $0.85f_c'$ ，且無單一試體之抗壓試驗值低於 $0.75f_c'$ 方為合格。若為方塊試體，三個方塊試體之抗壓試驗平均值須等於或大於 $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，且無單一試體之抗壓試驗值低於 $185\text{kgf}/\text{cm}^2$ 方為合格。

- 3.7.2 鋼纖維噴凝土：3 個圓柱試體或鑽心試體之抗壓試驗平均值須等於或大於 $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，且無一單一試體低於 $190\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，若為方塊試體，3 個方塊試體之抗壓試驗平均值須等於或大於 $255\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，且無單一試體低於 $220\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；再則，三個試體之 28 天平均抗彎強度須等於或大於 $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，且無一單一試體低於 $42\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

- 3.7.3 試體強度若未達上述設計要求或鋼纖維含量未達配比規定要求，除經監造人員同意免予打除重噴者外，承包商應無償打除重噴至達規定強度為止。

4. 計量與計價

4.1 計量

- 4.1.1 隧道噴凝土依設計圖所示開挖支撐類型，以各類完成長度乘以各類型斷面噴凝土範圍之弧長（半徑 $= R + t + d + ds/2$ ），（R. t. d. ds 之定義參見第 02412 章「隧道鑽炸法及非全斷面機械開挖」規定）所得面積以平方公尺為單位丈量。

- 4.1.2 除設計圖所示之計價範圍，凡超挖所回填之噴凝土、填不平整表面之噴凝土、不論任何原因不合格或廢棄之噴凝土，均不予丈量。

- 4.1.3 隧道開挖工作中，監造人員視地質情況顧及安全，指示施噴之噴凝土，以平方公尺為單位計量。

- 4.1.4 品質原已符合規定之支撐，若經由計測或觀察結果認為有必要增加噴凝土厚度以補強時，該加噴之噴凝土依監造人員所核定之施噴面積以平方公尺為單位計量。
- 4.1.5 噴凝土試體抗壓強度未達規定要求，而經監造人員書面同意免予打除重噴者，其每組平均強度若不低於規定強度之 80%時，該試體所代表噴凝土之計量，應折減為 80%核計。若其每組平均強度低於規定強度之 80%時，該試體所代表之噴凝土不予計價。
- 4.1.6 鋼纖維噴凝土試體抗壓強度未達規定要求，而經監造人員書面同意免予打除重噴者，其每組平均強度若不低於規定強度之 80%時，該試體所代表鋼纖維噴凝土之計量，應折減為 80%計。若其每組平均強度低於規定強度之 80%時，該試體所代表之鋼纖維噴凝土不予計量。
- 4.1.7 噴凝土中鋼纖維之含量未達規定但高於規定含量之 80%以上時，該試驗所代表鋼纖維噴凝土之計量應折減為 95%核計；若鋼纖維之含量未達規定之 80%，但高於 60%時，其驗方應折減為 80%核計；若鋼纖維之含量及噴凝土抗壓強度均未達規定要求時，除依強度未達要求之有關規定計量折減後再依上述鋼纖維含量未達規定要求之有關規定折減核計，但鋼纖維之含量未達規定之 60%時，不予計量。
- 4.2 計價
- 4.2.1 各按契約詳細價目表所列不同厚度之噴凝土或鋼纖維噴凝土契約單價給付。
- 4.2.2 契約單價包括施工面處理(如湧水或排水處理)、為達設計線之加噴量(施噴厚度規定為 5 或 10cm 者，加噴厚度為 5cm；施噴厚度規定為 15、20 或 25cm 者，加噴厚度為 10cm，仰拱除外)、損耗(含反彈損耗，仰拱除外)、搭架、養護、人員防護、試驗等工作所需之人工、材料、產品、機具、動力及其他為完成本項工作所需之一切費用。隧道若係採用鑽掘機械式隧道開挖者，該隧道內之噴凝土不計加噴量。

〈本章結束〉