

應用環氧脂塑膠內襯法

更新現有大廈水管之施工例

防鏽管理 Vol.28 No.11 與水知原著

李肇祁譯

1. 前言：辦公大樓、高樓公寓等一般鋼筋混凝土建築物之法定耐用年數為 65 年，在這些高樓中所埋設之自來水管大都採用鍍鋅有縫鋼管，而其耐用年數則約 15 年左右，但由於近來自來水水質之逐漸變劣，使水管使用年數不到十五年即已生鏽到流出紅色銹水或流量減少等問題產生。如此則必須修改水管、抽換水管來改善供水品質。不過水管已經埋在混凝土中，欲予更換，所花費金錢時間以及施工中對大樓使用上之困擾等問題太多，甚難輕易完成。為解決這一困難，最近在日本已開發一種使用環氧脂塑膠內襯施工法來更新舊水管。

此施工法自開發實地應用以來約經過八年歷史，目前在日本能做此項施工之公司有三家，曾經接受日本建設省（等於我國內政部營建署）之評鑑，它們的施工法各稱為：NPC 施工法、AR 施工法、AS 施工法等。

建設省所指定之這種施工法之開發目標有下列四項：

- (1) 能均勻除去管內鐵銹及附着管壁之堵塞物。
- (2) 防銹皮膜應能均勻附着於管壁且具有充份耐久性。
- (3) 恢復使用後對水質不得有不良影響。
- (4) 施工費用要低廉。

本報告先介紹 NPC 施工法之概要，並舉 F 大樓自來水管更新工程之實例說明施工上之各種問題，最後與其他施工法作一比較。

2. 內襯更新法之概要：像建築物內所埋設之自來水管口徑又小、分歧又多之管系要做更新，採用空氣噴射內襯法最為適宜，此施工法是應用空氣之流體力學特性，用加壓空氣推進砂砂，使它加速在管內作旋轉運動而達到清除雜物目的，然後由進口處以噴霧法將環氧脂塑膠藉空氣流動之能量（動壓）沿管壁逐次進行內襯。

本施工法係將噴砂清潔及內襯作業均以空氣流動為作業媒體，因此以控制管內之動壓來進行施工。圖一表示其作業流程。

(-) 高速噴砂清潔法：

此法係應用空氣流體力學，將研磨材料（如砂、細鋼珠等），與高速空氣作適當之混合比後壓送進已老舊化水管內，作清除磨光作業。

圖一. 環氧脂塑膠內襯水管更新法作業流程

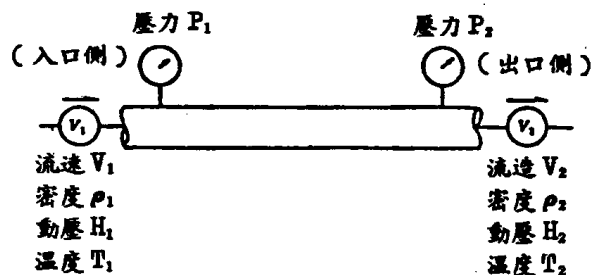
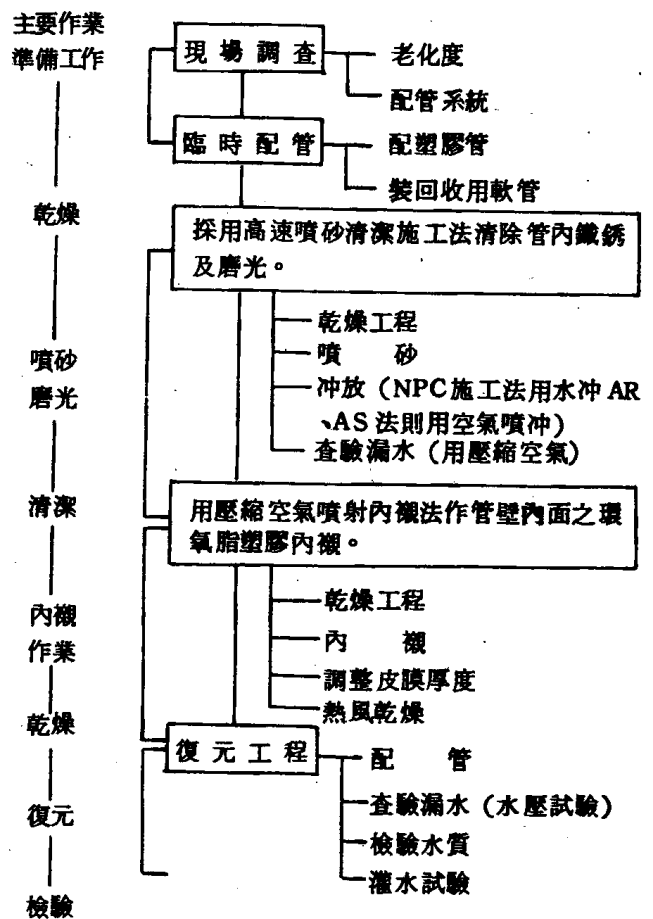


圖 2 管路內空氣之運動能量之變數

假想如圖-2所示管系，空氣之動壓即運動能量可用下列公式表示：

$$H_1 = \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2$$

$$H_2 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \dots\dots\dots(1) \text{ 依照 Bernoulli's 連續方程式}$$

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \dots\dots\dots(2) \text{ 因此動壓和流速之關係}$$

$$\text{爲 } \frac{H_1}{H_2} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots(3) \text{ 進口和出口動壓變化與}$$

流速成比例，另一方面依照 Boyle-Charles's 定律，定積之變化亦即流速之變化為 $\frac{V_1}{V_2} =$

$$\frac{P_2 (273 + T_1)}{P_1 (273 + T_2)} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{假定管內之溫度是等溫，則 } \frac{H_1}{H_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \text{ (5)}$$

因此動壓與絕對壓力是成反比。將此原理應用於噴砂清潔作業，設管內之砂砂含混率 (ρ) 在一定值時如管內空氣流速加大，則可提高動壓，亦即增加噴砂清潔效果。

進口壓力較出口處之壓力，如有顯著增大，表示動壓即噴砂清潔效率有較大之差異，與進口處相比在壓力較低之出口部位之磨光狀態有過份良好，則有可能會傷害管體本身之危險，應加注意。

(二)高壓噴內襯施工法：

經上述高速噴砂清潔法磨光之管子內壁上噴射塗料及硬化劑二種混合之環氧脂塑膠塗料，使塗料皮膜能安定地附着於管壁。本施工法採用高壓空氣氣流，使塗料能對管壁全面形成皮膜。

理論上與噴砂清潔法相同，被噴進之塗料由動壓推進管內，而由進口處繼續補充塗料，如此內襯皮膜就能繼續進行。

這時附着於管壁之塗料可控制在高速氣流動壓與塗料粘度相平衡之某一厚度 (約 0.5 mm)。其所用塗料應採用環氧脂塑膠系，具有極佳之粘着性、防水性及水質安定性，且能以較低之施工動壓，施工可節省動力，遇動壓有若干變化時塗料皮膜厚度不易變化之粘度構造為宜。對於動壓之測定，設：

空氣動壓.....H，空氣流量.....Q，

空氣密度..... ρ ，空氣流速.....V，

空氣絕對壓力.....P，管徑.....D，

$$\text{係數 } K_0, K_1, K = \frac{1}{2} \frac{K_0}{K_1^2},$$

$$H = \frac{1}{2} \rho V^2 \dots\dots\dots(6) \text{ 管內可視為等溫變化 } \frac{P}{\rho} =$$

$$K_0 \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{空氣流量爲 } Q = \rho V K_1 D^2 \dots\dots\dots(8)$$

將(7)，(8)代入(6)

$$H = \frac{1}{2} \frac{K_0}{K_1^2} \frac{1}{D^2} \cdot \frac{Q^2}{\rho} = K \frac{1}{D^2} \frac{Q^2}{\rho} \dots\dots\dots(9)$$

所以要求知動壓，只要測得管徑和空氣流量、壓力就可。相反地，最設定最佳動壓時，以控制空氣流量及壓力就好。

(一)內襯皮膜之安全性及耐用性。

(1)內襯皮膜之安全性。

所謂安全性就是經過內襯之管子流通自來水時，尚可供作生飲之性能，全靠選擇內襯用材料之是否適合以及內襯皮膜是否完整而定。所以要選用環氧脂塑膠時，不僅就原料種類、顏料、以及添加劑等之性能加以考慮，此外從安全性方面亦應加以嚴格挑選。

(2)環氧脂塑膠塗料皮膜之形成。

環氧脂塑膠基材與硬化劑混合後，產生硬化反應，形成強韌而安定之皮膜，為要達到這種優秀性能，必須有：

①基材與硬化劑之混合比要正確。

②噴霧施工後應使皮膜能確實硬化。

這二點是施工管理上之重要關鍵，可是對修理更新管子作業上，一般都要求在短時間內就要恢復使用，所以水質之安全性會有問題。為要快速提高內襯施工皮膜對水質之安全性，以加溫方法來促進硬化反應，以及反覆用水沖洗較有效。

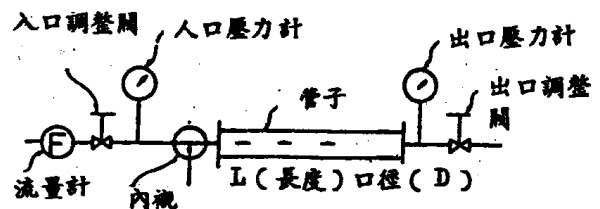


圖3 內襯法作業系統

(3)內襯皮膜之耐久性能。

內襯材料必需具備之條件為：

①皮膜之吸水率低，內部凝結力要大。

②粘着力要強。

環氧脂塑膠原本用作粘膠，它具有強固之架橋反應，可說具備上述條件。在下述案例需要在短時間內必須對複雜之管系做連續內襯作業且要維持其耐久性，對於施工精密度，管理之良

否關係甚大。要保持耐久性，應注意下列條件：

- ① 基材與硬化劑之混合比管理。
- ② 皮膜厚度形成管理。
- ③ 管壁表面處理之管理。

3. F大樓自來水管更新工程案例：

(一)大樓建築物概要：

名稱：F大樓。地點：東京都新宿區。
 竣工年月：1965年10月。構造：鋼筋混凝土造。
 樓層：地上九層，屋頂建築物三層，地下四層。
 地板總面積：11,000 m²。用途：辦公用

(二)工程概要：

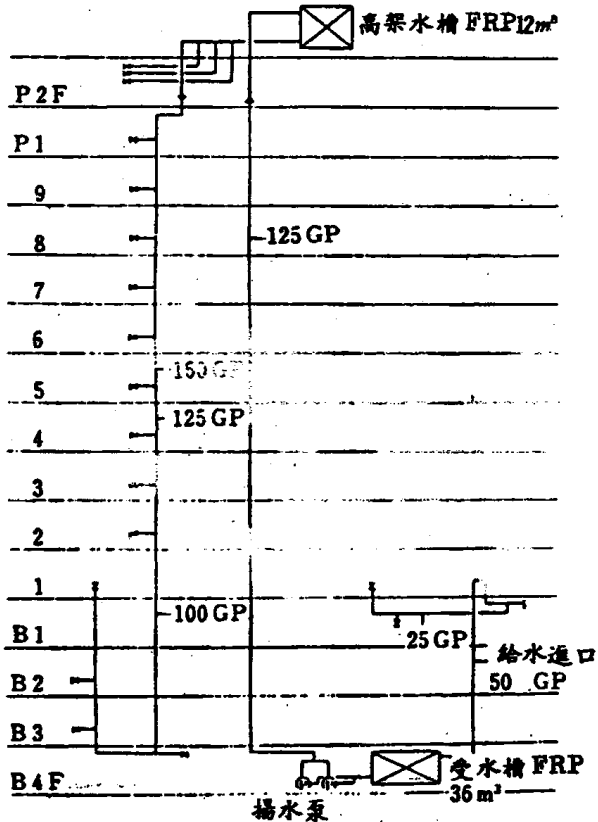


圖4 給水配管系統圖

對現有送水管及給水管之內面先予清除雜物，再以環氧樹脂膠做內襯之工程（本工程採用NPC施工法）。

(1) 施工期間：約 40 天。

(2) 工程範圍：水管系統圖如圖 4、5，125 GP 送水管及 150 ~ 100 GP 給水幹管及各樓廁所水管。

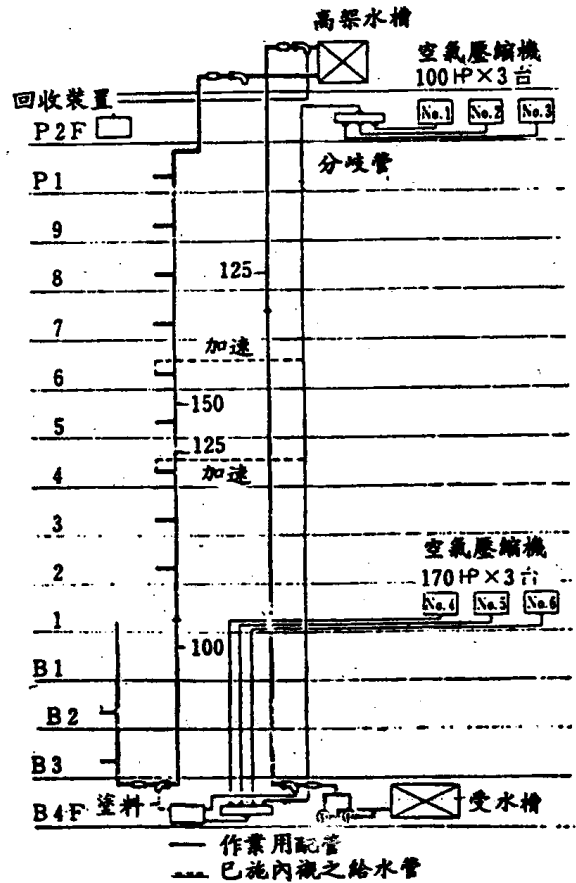


圖5 主給水管內視作業

(3) 工程內容：

上班日對各樓層之分歧管施工，星期日對立上主給水管施工。為顧慮不影響辦公時間內廁所之使用，施工計劃以隔層實施為原則。表-1為作業時間及停止供水時間表。表-2為工程進度表。

表1 作業時間及給水停止時間

	前日	作業日	翌日	備考
作業階		8:30 - 20:00	8:00	平日 週六假日 星期日 假日
主給水管及揚水管	18:00 - 20:00	22:00	7:00	
事務所				

□ 作業時間

→ 給水停止時間

表 2 F 大樓給水管內視工事工程表。

	8月					9月				10月				
	20	25	30	31	1	5(6)	10	15	20	25	30	1	5	10
点檢口取付工事														
给水管工事														

③ 高速噴砂施工步驟：

- (1) 先將各樓廁所之閥關閉，排放殘留管內水份，如有必要則配臨時管或軟橡皮管供作排水，立上管與橫接分歧管先予切斷。橫接分歧管之閥，沖洗用閥等要拆下再裝上噴砂槍，並在末端處接回收用軟管。
- (2) 先經噴砂槍送進乾燥空氣，使管內充份乾燥。
- (3) 將研磨用砂以適當混合比混入高速氣流中（管內磨光作業最佳空氣流速為 40 ~ 140m / sec）使管內金屬表面能露出為止。
- (4) 在高速氣流中加適量水沖洗管內，使殘存於管內之研磨砂及鐵銹等完全清除乾淨。
- (5) 再用乾燥空氣乾燥管內。

要施工立上管時先將切斷橫管處加以盲栓，在最下端口徑較小部份切開裝上噴砂槍，同時在屋頂上高架水槽之閥處切開，裝上回收軟管，然後用相同步驟做噴砂磨光作業，這時在口徑較大部位之空氣流速可能不夠，必要時在橫接分歧管切斷部位再補充加速用空氣。圖 - 6 表示本施工之作業流程。由砂管 (Sand line) 送到之砂砂，經由裝在配管口處之加速裝置與空氣管 (Air Line)，送到之高速乾燥空氣匯流形成旋轉氣流噴進管內。

砂砂之混合比率是由砂砂槽 (Sand Tank) ② 下面之閥配合空氣量來調整。當管內鐵銹或夾雜物質被砂砂噴衝逐漸去除管內之壓力損失會降低，這時空氣量會隨之自動增加，在砂管中之砂砂亦跟着增加，所以混合比能保持在一定值範圍內。

由管子末端所排出之砂砂、鐵銹等雜物為要消除細塵飛揚，先在 Venturi Scrubber 加濕（空氣每 1 立方公尺 / 分，約加 0.1-1.5ℓ / 分之水份）後送至 Cyclone Scrubber 分離固形物和空氣，收回砂砂。

當管子之磨光作業完畢，壓力損失減小而加速裝置之壓力達到一定值後，即關閉 Sand Line 使砂砂不再混入，然後打開水管系統之閥③，使水與空氣混合作沖洗工作，將留存於管內之砂砂沖洗乾淨後，用乾燥空氣吹乾管子內部，整個噴砂作業就告完成。

④ 壓縮空氣噴霧內襯施工步驟 (圖 - 7)

- (1) 在已經研磨打光之管子，於拆下閥或沖洗用止水閥處，接上噴霧內襯作業槍，另一端暫用盲栓封蓋，接通約 3 kg / cm² 左右之壓縮空氣測試有無漏氣，確認未漏乃拆下盲栓接上回收用軟管。
- (2) 以適當空氣量送進管內並連續混入適量之塗料直至管子末端，看到有塗料粉末排出，即停止作業。
- (3) 檢查進口及出口處之塗料皮膜之附着情況，如塗料有過多形成垂下則再壓送空氣作調整皮膜厚度工作。
- (4) 等待皮膜硬化後，用空氣測試施工後流體能否順暢流通。
- (5) 將管系恢復原狀，用壓縮空氣測驗有無洩漏，確認無漏後用水清洗管內完成作業。作業完畢後需放置 24 小時後，再用水沖洗管內，並抽樣檢查水質，確認水質已達安全標

準後，才拆除臨時配管。圖-7表示整個作業之流程。

經計量裝置控制出量之環氧脂塑膠主劑及硬化劑，由混合器予以充份攪拌混合後，在第一加速裝置內由旋轉氣流加速，再經第二加速裝置中之圓環型噴嘴噴射進管內，使塗料附着於管壁上。所形成皮膜再經加速空氣之推進往管子前方移動。向前推進皮膜厚度是由管內空氣流量，流速和塗料連續供應之多寡而決定。皮膜進行至管子末端，內襯作業完成，則所排出之多餘塗料由施風收塵器 (cyclone scrubber) 分離回收之。

4. 環氧脂塑膠內襯管之腐蝕情況調查。

(一) F大樓內襯作業狀況：

應用上述壓縮空氣噴霧內襯施工方法之理論，實際施工於F大樓自來水管，到底有沒有達成如期望之效果？環氧脂塑膠有沒有充分發揮其性能？噴砂磨光效果如何？皮膜厚度有多少

？等等問題必須求證。因此在進入施工前之準備期間就考慮切下管子樣品，查看銹疤附着狀態以及高速噴砂打光內襯施工後之情況。

施工前之狀況如照片1、2，本大樓建築於1965年，約經18年時光，並未看出有劇烈腐蝕現象。施工後之狀況如照片3，尚可看到紅色鐵銹斑點存留，表示噴砂作業未澈底做好。內襯施工後之狀態若在噴砂施工良好部位，則母材與塑膠之粘着良好，若在殘存鐵銹部位，則皮膜變薄 (照片-4)。

(二) 與其他環氧脂塑膠施工法作比較。

這種塑膠內襯法尚有其他二、三種施工法，與F大樓施工案例作一比較，例如東京都世田谷區，某公司員工宿舍所做的內襯施工結果，皮膜厚度有厚薄不均現象。這是因為該施工法並未採用清水沖洗而僅用空氣作為清潔媒體，所以鐵銹未能完全除去。(照片-5)

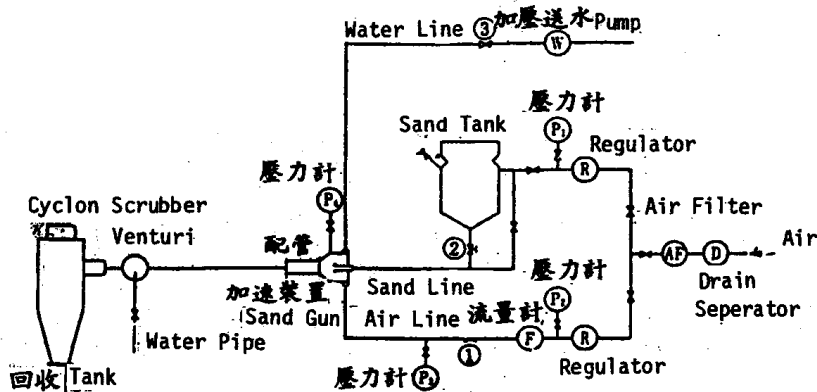


圖6 高速噴砂裝置 Flow Sheet

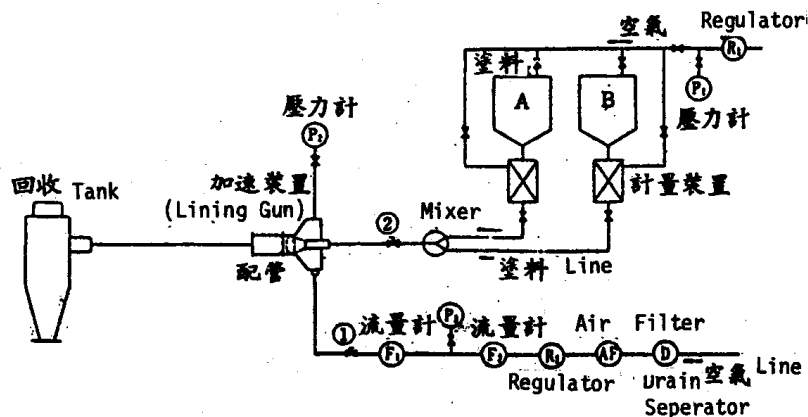


圖7 空壓噴射內襯裝置流程

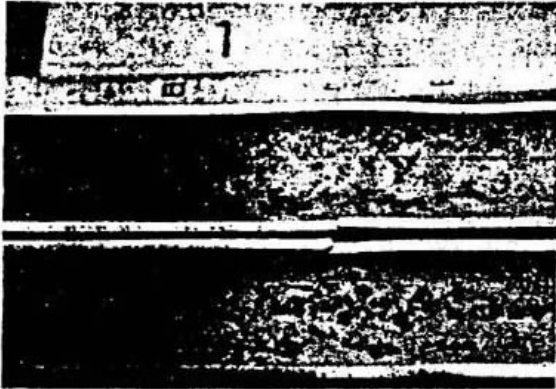


写真1 F大樓給水管供試體之內面

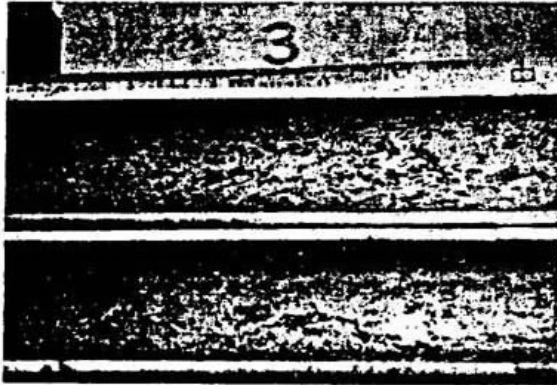


写真3 F大樓給水管噴砂後供試體內面



写真2 F大樓給水管供試體之斷面(110)倍



写真4 大樓給水管環氧脂內襯供試體斷面(110)倍



写真5 S社宅給水管環氧脂內襯供試體斷面(110)倍

5.檢討：

以內襯施工法來更新自來水管有下列幾項優點：

- (1)用內襯處理可使舊管更新如同新管。
 - (2)與抽換管子比較可節省一大筆經費。
 - (3)施工期間可以縮短。(某種情況得免架設臨時管)
 - (4)對建築物本身無任何破壞。
 - (5)施工時不發生噪音、灰塵，對附近居民之影響少。
- 這些優點是以抽換埋設管之施工法所無法達到的。雖然如此，却還有以下問題存在。

(一)高速噴砂法之問題點：

- (1)用砂和空氣之混合氣流來做清除鐵銹，很難期望其完善，尤其在直立管與橫接管啣接部，直管連彎曲管部位，以及裝接空氣管進出口處之銹垢、瘤疤等清除程度差異甚大，有時候會因過份研磨以致管子為之破損。
- (2)能施工長度之限制以 50 A 以下者為 12 ~ 15 公尺，65 A 以上則 20 ~ 25 公尺，對工程計劃難以控制。
- (3)加速裝置控制用壓力錶之精密度不十分良好狀況下，對動壓變化之查看必須依靠作業員之爛熟經驗，所以工程品質很難期望均勻。

(二)壓縮空氣噴霧內襯施工法之幾項問題：

- (1)內襯品質、精密度不穩定。
- (2)內襯狀況無法用眼睛看到。
- (3)要對管壁做均勻內襯很難。(皮膜超過 2 mm 以上就發生垂下現象)。
- (4)內外部有嚴重腐蝕管子無法施行。
- (5)做過一次內襯施工後就無法再做第二次內襯施工。
- (6)基材與硬化劑二種液體之混合物作內襯材料。如果混合比不適當，會產生有害物質 Amine 溶解出水中。
- (7)因作業者熟練度之不同，對工程品質極易產生差異。

(三)F 大樓實地施工時發現幾項問題：

- (1)三通、彎頭等彎曲內面部位之鐵銹有些地方未能完全除掉就塗上內襯塑膠。
- (2)因產生氣泡使內襯容易形成斑孔。
- (3)噴砂進行中遇堅硬銹塊(尤其在流速較大處之小銹塊)無法完全除掉，會留存痘疤狀鐵銹。
- (4)高架水槽及閘附近之短管經切斷後只得用手工除銹，塗內襯料，施工品質可靠性稍低。
- (5)衛生陶器周圍管子有一部份是無法施工。例如：

(a)小便器之洗淨管。

(b)Float Valve 至大便管間之沖水管。

其他如分歧管閘附近，直結供水部份等。

送水管如過長，最好分成數段以 40 公尺以內為一段進行施工，這是因與塗料硬化時間有關係，普通環氧脂塑膠襯料之硬化時間在氣溫 20℃ 時約需 20 分鐘，以塗噴速度 3 m / 分，計算理論上可做到 60 公尺長。

此外，如果直立管太長，則可能有些塗料由上垂下，使橫接管堵塞。

(四)取樣檢查結果：

(1)銹、污垢清除程度：

如本案例大樓自來水管內所發生鐵銹，原以為經過年限不久且鐵銹本身不致太硬，金屬表面之腐蝕較少，除銹工作一定容易，但施工後發現尚留存鐵銹。與其他施工案例中有的已經發生結瘤般大塊鐵銹者，要完全除銹似乎甚為困難，在銹疤上再塗上內襯塑膠，日後遇有外力作用，可能一齊剝落。

(2)塑膠之粘着程度：

塑膠料與金屬接觸界面如照片 4、5，在照片 5 可看出界面處有隙縫，照片 4 情況較為良好，但亦可看出若干銹斑，以所取得樣品判斷，塑膠似乎不太緊密的粘着於金屬，在照片 4 中亦可看出皮膜中尚留存氣泡，這可能因施工時之高速氣流捲入塑膠料所致。不過這氣泡日後會破壞，使水份侵入情形將不會發生。

由以上幾點考察，要輕易導入塑膠內襯施工法是很危險的，不過本施工法自開發成功推出，迄今為時尚短，尚須努力研究，尤其對經年變化之情況要多加追蹤。

為要解決上述缺點，下列數項新技術有待開發：

- ①完全清除鐵銹之控制方法及管內清洗方法。
- ②能使塑膠塗料均勻在管內粘着之施工方法及皮膜厚度控制技術之開發。
- ③施工完畢後之檢驗方法之建立。

本施工法僅能適用於自來水管，至於熱水管則受塑膠料之限制很難應用。

各種水管更新施工法之比較如附表— 3。

項 目	N P C 施 工 法	A R 施 工 法	A S 施 工 法
公 司 名 稱	日本 Plant Service Center	HAMAPROPANE Co., Ltd	東洋 Lining C Ltd
1.適合性 (-)做判斷施工之可能性 (1)外觀	不得有漏水，雖稍有漏水對該部份修理容易者。 由外部修補工作無法實施者，僅做噴砂磨光工作，做漏氣試驗，視其效果再決定可否進一步做內襯。	不得有腐蝕穿孔漏水。如稍有漏水，對該部位能容易修補才行。	對腐蝕漏水狀況用目視或槌打法推定其殘餘耐用年數及耐壓強度。
(2)測量管壁厚度	尚有規定厚度以上才施工，以下未達規定厚度者，則抽換取樣地點為水壓高及低二處之包括有螺紋部位各取2個以上。管系均無漏氣，螺紋部之厚度按各口徑計算應有使用水壓之2倍以上之耐壓強度。	由螺紋部之剩餘厚度求容許內壓，應有使用水壓之三倍以上。	由殘剩厚度推算剩餘耐用年數，並考慮做局部修補工作後剩餘耐用年數必須有五年以上。
(3)機能檢查	用1/2 B水龍頭測試放流量，如有施工可能界限量時才施工，未達標準者抽換。	測定流量與新管時之理論值對照，推定腐蝕厚度計算殘剩厚度，就現有厚度求容許內壓，應有使用水壓之三倍以上。	對埋沒或隱蔽配管先用空氣壓7 Kg/cm ² 試壓。有漏氣則先修補，能耐負載壓力30分以上。
(-)適用管子種類	鋼管、鑄鐵管、銅管、鉛管等之直管及接頭	全 左	全 左
(-)適用管徑	15 A ~ 200 A	全 左	全 左
2.均勻性 (-)磨光之基準 (-)皮膜厚度 (由查驗值作平均。 () 內數字是14處之平均值。 (-)針孔驗出率	按瑞典 S.I.S Sa 2 1/2 Min 0.28 mm (0.68 mm) Max 1.6 mm (1.03 mm) 1處 / 46點 = 2.17 %	全 左 Min 0.16 mm (0.23 mm) Max 0.72 mm (0.48 mm) 13處 / 39點 = 33.3 %	全 左 Min 0.05 mm (0.35 mm) Max 1.95 mm (0.60 mm) 12處 / 44點 = 27.3 %
3.耐久性 皮膜之耐久性試驗。按 JWWA G12 法 (☆)	針孔試驗，粘着力試驗，衝擊試驗，硬度試驗，塩水噴灑試驗，高低溫反覆試驗	(☆) 自來水用韌性鑄鐵管內環氧脂粉狀塑膠 (熱硬化) 內襯品 全 左	全 左
4.衛生上之安全性 (-)水質試驗。 (-)溶解試驗。(JWWA G 112)。	無 異 常 無 異 常	全 左 全 左	全 左 全 左
5.對附近鄰居之影響 (-)施工機器之噪音。 (-)粉塵排放。 (-)施工時之排放物。	空氣壓縮機 - A 特性 62 dB 用回收裝置捕收鐵銹-研磨材可用回收裝置收集。沖洗廢水則排放。	67.9 dB 全 左 有沖洗廢水排放	63.5 dB 全 左 可用收塵器收集
6.施工賠償	對象管系如圖施工引起之損害在移交前及驗收後五年內有賠償。	全 左	全 左
7.經濟性評估 內襯施工法費用對舊管抽換法費用之比率。	45.7 %	41.6 %	42.3 %

參考資料：

1. K.A. Chandler, Brit. Corros. J., Vol 1, 264-266, July (1966)
2. F. Mansfeld, Werkstoffe und Korrosion, Vol 30, 38-42(1979)
3. C. S. Yu, Symposium of 4th Asian-Pacific Corrosion control Conference Vol 1, P 436-445, 1985. May, Japan.
4. H.H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control, p 78-79.
5. C.D. Stockbridge etc. J. Electrochem Soc. 108 (1961) 7, 923
6. 野村義一郎 etc 鐵と鋼 1977 S873
7. 高橋政司 etc 鐵と鋼 1978 A167
8. Shoj, Shimada, etc "Trans. ISIJ. Vol 17 1977(13)
9. P. Hancock, R.C. Hurst, Advances in corrosion Science and Technolog, vol, Plenum press, 1972, p 1-70.
10. K. Sachs & C.W. Tuck, The Iron Steel Inst., London 2. (1967)
11. A Rahmel & J. Tobolski: Corrosion Suence 5 (1965) p.333.
12. Charles G. Munger, Corrosion Prevention by Protective Coatings, NACE, 1984 P.19
13. Brubaker, Phipps, Corrosion Chemistry, ACS. Symposium Series 89 American Chemical Society, Washington, D.C. 1979.
14. R.M.Hudson, etc, Metallurgical Trans A. vol 7A, 1976, P. 1857
15. R.M. Hudson, etc, Metallurgical Trans A. Vol.8A, 1977, P.1713.
16. K. Barton, Protection against Atmospheric Corrosion, 1972.
17. G. Wranglen, Corrosion Science, 9, 585-602, 1969.
18. G. Wrangl'en, "Localized Corrosion", NACE-3, 462, 1974.
19. G. Wrangl'en, Corrosion Science, 14, 331-349, 1974.
20. S. F. Timashev, Zashch Met. 1980. P.140.
21. 余承聖、謝清吉、吳覺宇“鋼品防銹劑之開發研究”，礦冶第 27 卷，第 2 期，72 年 6 月 p. 85