

農業用パイプラインにおける強化プラスチック複合管の漏水事故要因と対応策について

強化プラスチック複合管協会
技術委員 野中 俊秀

キーワード：強化プラスチック複合管，FRPM 管，漏水事故，事故要因，事故リスク低減

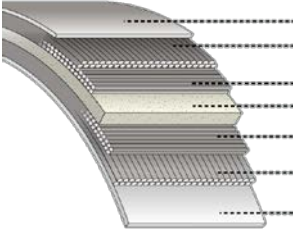
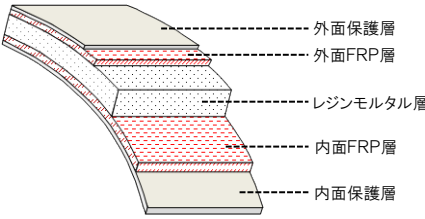
1. はじめに

強化プラスチック複合管（以下「FRPM 管」）は 1970 年に生産・販売されて以来、優れた水密性・施工性などの多くの特長により農業分野において多数採用されてきたが、昨今過去に敷設された FRPM 管の漏水事故が報告されている。そこで現行の強化プラスチック複合管協会会員会社（株式会社栗本鐵工所、積水化学工業株式会社）にて、その漏水事故要因と対応策について調査及び検討した結果を報告する。

2. FRPM 管の種類と成形方法

FRPM 管の種類はその成形方法により、表 2.1 のように FW 管と CC 管に区分される。FW 管はフィラメントワインディング成形（Filament Winding: FW 成形）によって製造されており、高い引張り強度を持ったガラス繊維を切断することなく長繊維のまま芯金に巻きつけており、ガラス繊維の強度がより有効に活用されることが特長となっている。

表 2.1 FRPM 管の成形方法別比較

FRPM 管の種類	FW 管	CC 管
成形方法	・フィラメントワインディング成形（Filament Winding: FW 成形） 高い引張り強度を持ったガラス繊維を切断することなく長繊維のまま芯金に巻きつけて成形	・遠心力成形（Centrifugal Casting: CC 成形） 高速回転による遠心力によって、ガラス短繊維、樹脂、骨材などを積層成形
構造		
特徴	ガラス繊維が切断されていないため、ガラス繊維の強度がより有効に活用される。	ガラス短繊維の強度は樹脂とガラスの付着力に左右される。
メーカー	・株式会社栗本鐵工所 ・積水化学工業株式会社 ・(株式会社クボタ: H20 年撤退)	・(日本ホーバス株式会社 : H22 年倒産)

3. FRPM 管(FW 管)の長期性能

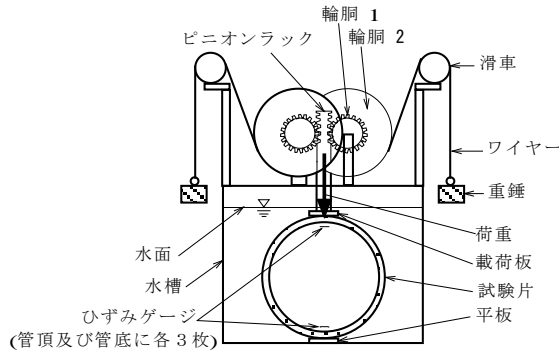
FRPM 管 (FW 管) の長期性能を確認するために、以下に示す長期極限曲げひずみ試験及び経年管 (長期埋設管) の外圧試験を行った。

(1) FW管の長期極限曲げひずみ試験

FRPM 管のFW 成形品については、以下の長期極限曲げひずみ試験を行うことにより、50 年後の安全性を確認した。表 3.1 に示す供試管を図 3.1 のように水中に設置し、静的荷重を負荷して破壊に至るまでの時間および破壊時の円周方向ひずみの測定を行った (ISO 10471 に基づき実施)。また得られた結果から、ISO 10928 に基づき回帰直線を求め、50 年後の長期極限曲げひずみを算出した。

表 3.1 長期極限曲げひずみ試験供試管

呼び径	管種	管長 (mm)	メーカー
500	内圧 3 種	300	株式会社栗本鐵工所
	内圧 4 種		積水化学工業株式会社



※農業土木学会誌 水土の知 2007 02 Vol.75/No.2

「FW成形強化プラスチック複合管の長期性能試験」より抜粋

図 3.1 長期限界曲げひずみ試験装置※

その結果、FW 成形品の 50 年後の破壊ひずみは、いずれのメーカーにおいても $9,000 \mu$ 以上であることが確認できた (図 3.2 ~ 図 3.3 参照)。農水省設計基準の構造計算では、試験外圧 (破壊外圧の 80%) に対して 2 の安全率を考慮するよう規定されている。FRPM 管の外圧による破壊ひずみが $14,900 \mu$ であることから、使用時の限界ひずみは、 $14,900 \mu \times 0.8 \div 2 = 5,960 \mu$ となり、この値は、長期的な限界ひずみである $9,000 \mu$ よりも小さく、耐用年数 50 年を経過した場合でも、十分安全側であることを示している。

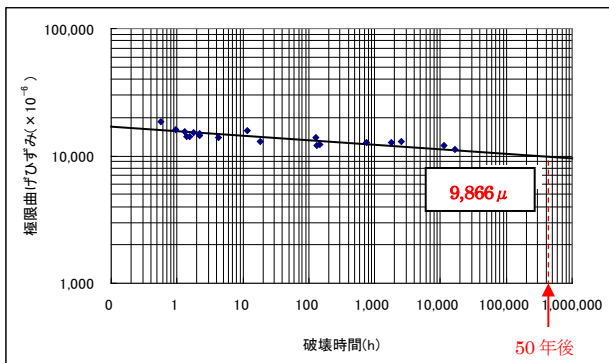


図 3.2 長期限界曲げひずみ試験結果
(株式会社栗本鐵工所)

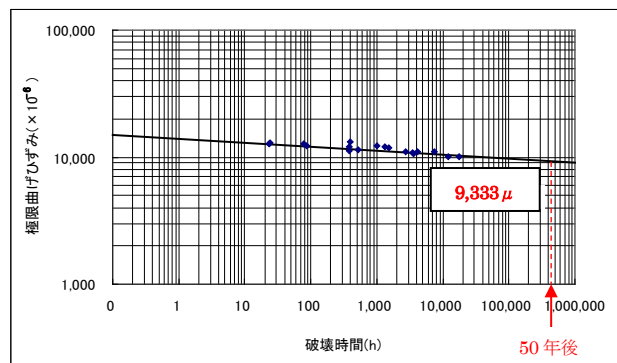


図 3.3 長期限界曲げひずみ試験結果
(積水化学工業株式会社)

(2) 経年管外圧試験

実際に埋設されたFW管を掘り上げて、JIS A 5350（強化プラスチック複合管）に準拠した外圧試験を行い、規格値（基準たわみ外圧及び試験外圧）との比較を行った。試験結果を表3.2に示す。2つの事例に対し、いずれも基準たわみ外圧及び試験外圧を満足していることが確認できた。

表 3.2 外圧試験結果

	呼び径	管種	埋設期間	実測値／規格値	
				基準たわみ外圧	試験外圧
事例 1	800	内圧 2 種	約 15 年	120%	146%
事例 2	1350	内圧 5 種	約 35 年	122%	143%

4. FRPM 管の漏水事故要因

供用中のFRPM管における平成12年～平成28年度に発生した漏水事故で、強化プラスチック複合管協会またはメーカーに連絡があった57件の管種類別施工実績・事故件数・事故様態を表4.1に示す。施工実績は昭和53年～平成27年度までの国営各農政局、北海道開発局、沖縄総合事務局、水資源機構における採用実績（株式会社栗本鐵工所、積水化学工業株式会社、日本ホーバス株式会社の3社の納入実績）であり、CC管とFW管の割合は1：2程度となっている。一方、事故件数はCC管がFW管の2倍以上であり、事故様態もCC管は大規模な管体破損が多くを占めるのに対し、FW管は管体が大破する事故は少ない。またCC管の事故は、平成5年～平成11年度に施工された管に多く発生している傾向が見られる。その他、平成18年度以降に施工されたFW管において、管体破損による漏水は報告されていない。

表 4.1 管種類別施工実績・事故件数・事故様態

管種類	施工実績		事故件数	事故様態等
CC 管	S53～H19※	約 3 百km	40 件	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模な管体破損が多い ・H5～H11 年施工の管に事故が多い
FW 管	S53～H17	約 3 百km	17 件	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模な管体破損は少ない 事故連絡なし
	H18～H27	約 3 百km	なし	

※CC管は平成22年に倒産

次に、FW管の事故要因と対策状況を表4.2に示す。

表 4.2 FW 管の事故要因と対策状況

事故要因		件数	対策状況
埋設環境 の変化	基礎の不等沈下	2	地下水位が高い所等での砕石基礎の推奨
	地下水による基礎の緩み	1	
施工時不良	異物による点支持	4	施工指導の徹底
	重機等による打撃	1	<ul style="list-style-type: none"> ・施工要領書の発刊 ・施工説明会の開催 ・施工ビデオの制作
	鋼製異形管のボルト締付不足	2	
	継手部接合不良	1	
施工時ゴム輪接着不良	1	継手形状をB形からC形に仕様変更し、	
生産時不良	継手部ゴム輪接着不良	1	ゴム輪接着タイプを改良
その他原因不明等		4	
計		17	

事故要因は埋設環境の変化として、基礎の不等沈下や地下水による基礎の緩みなどが挙げられる。また、施工時不良として異物（図 4.1）の点支持による破損（図 4.2）や継手部分の不具合が FW 管事故要因の半数以上を占めている。継手部分の不具合において、ゴム輪接着に起因するものについては既に現場での接着が不要な継手構造に変更済みであり、鋼製継輪のボルト締め付け不足等に起因するものについては、現場ごとに実施する施工説明会の開催や施工指導の徹底などの対策を行っている。施工指導の際に使用するツールとして、管の保管、吊り下ろし、基礎材施工、配管、埋め戻し、異形管接続までを網羅した施工要領書「圧力管路用施工のポイント」を平成 15 年 12 月に発刊、また施工時の禁止事項を分かり易く伝えるための施工 DVD を制作し、正しい施工の周知活動を行っている。



図 4.1 基床面に残置された転石



図 4.2 異物による管内面の周方向亀裂

5. FRPM 管(FW管)の漏水事故リスク低減策

(1) 異物等による局所変形に対する抵抗性向上策及び漏水防止策

前述の通り、適切な条件下では FW 管の長期耐久性が確認されており、事故要因は埋設環境の変化や施工時不良が挙げられるが、多くは改善が図られている。施工不良については、施工指導の徹底などにより正しく施工を行うことにより、基礎材への転石や木材などの異物混入を防ぐことが可能となり、長期の安全性を確保することができる。

今回、更なる不測の事態に備えた安全性向上策として、基礎材に転石などの異物混入を想定した管体の強化に取り組んだ。想定として、図 5.1 に示すような管体に異物が接触し応力集中が発生した場合には、局所変形により管内面側に引張、管外面側に圧縮の力が作用する。

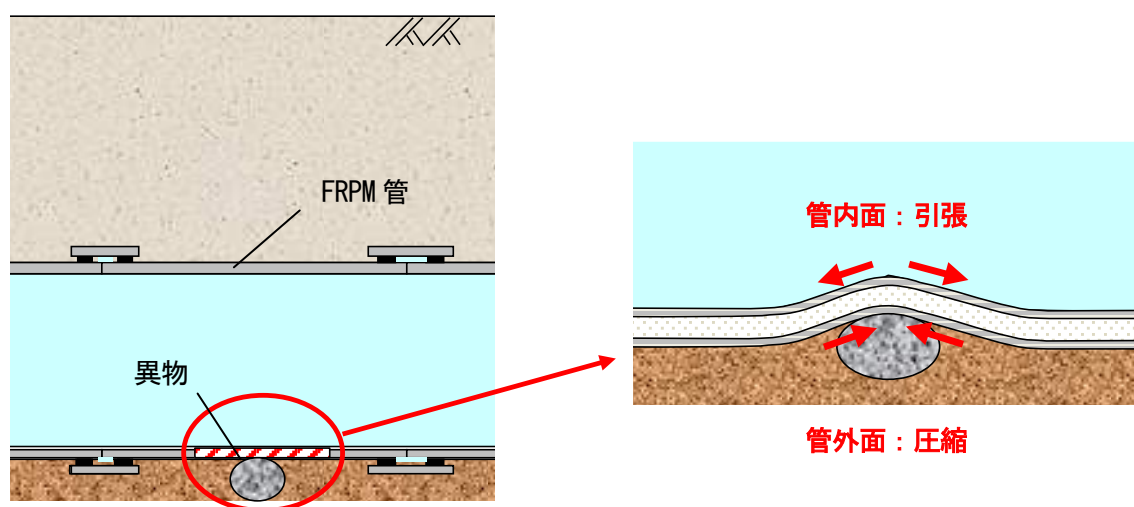


図 5.1 異物による管の局所変形模式図

局所変形の際に FRPM 管の管厚部は周方向、軸方向共に曲げ変形を受ける。一方、FRPM 管は通常の使用において、適切に施工されていれば軸方向にはそれほど強度を必要としないことから、周方向をより強化した設計となっている。従って、今回のような局所変形に対する抵抗力を向上させるためには、軸方向強度が課題となる。

FRPM 管は、ガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂からなる FRP 層が外力を負担し、ガラス繊維の配向と量により管の強度が決定される。今回、**図 5.2** に示す通り管内面 FRP 層に軸方向 FRP 層を追加することで軸方向の強度を向上させ、破損初期の管内面 FRP 層の断裂を防ぎ、漏水の高圧噴出による基床材の緩みや流亡による管破損への進行防止を図ることとした。

但し FRPM 管の管厚は、軸方向 FRP 層が追加された分だけ中間層であるレジンモルタル層（強度に影響しない層）の厚みを減らしているため、従来品と同等の管厚となっている。従って、管外径や重量などは従来品と殆ど変わりがなく、FRPM 管同士及び鋼製継輪等との接合も含め、施工性は従来品と同等となる。

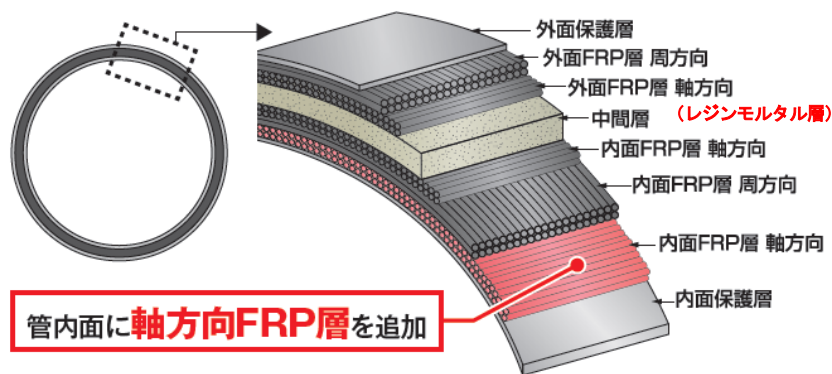


図 5.2 軸方向強化 FRPM 管の断面構造 (一例)

(2) 性能確認試験 1 (軸方向三点曲げ試験)

軸方向強度の向上を確認する試験として、軸方向三点曲げ試験を行った。**図 5.3** に示すように従来品及び強化品から切り出した試験片に対し、管内面側を下向きに設置し、中央部分に荷重を加えた際に管内面側に引張荷重が作用するように試験を行い、曲げ強さの比較を行った。各口径毎の試験結果を**図 5.5** に示す。

試験結果より、軸方向三点曲げ強さは従来品に対して概ね 1.5 倍～2 倍に向上することが確認できた。

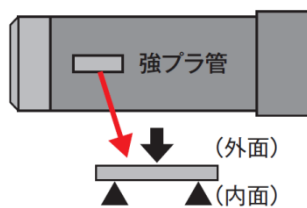


図 5.3 軸方向三点曲げ試験方法

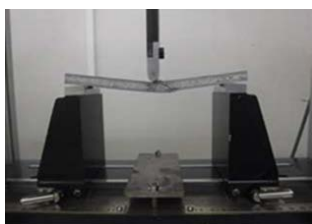


図 5.4 軸方向三点曲げ試験状況

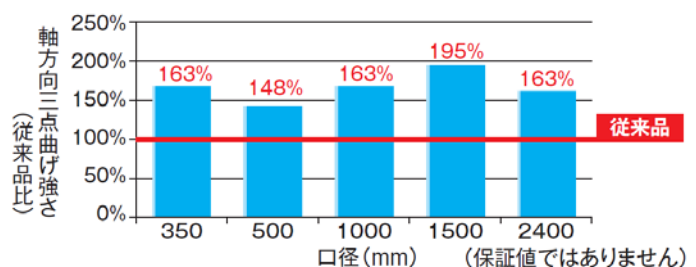


図 5.5 軸方向三点曲げ試験結果

(3) 性能確認試験2 (異物外圧試験)

基礎材の異物に対する抵抗性を確認する試験として、異物外圧試験を行った。図 5.6 に示すように従来品及び強化品の供試管 (呼び径 500 長さ 300mm) の管底に異物を接触させ、周囲を木枠にて拘束した状態で荷重を加え、破壊荷重及び内面 FRP 層の断裂の有無の確認を行った。なお試験は異物の形状及び拘束時のたわみ量を変更した 4 条件にて行った。破壊荷重の結果を図 5.7 に、内面 FRP 層の状況を図 5.8～図 5.9 に示す。

試験結果より、破壊荷重は従来品より向上していることが確認できた。さらに、従来品では破壊発生時に内面 FRP 層の断裂が確認されたが、強化品では確認されなかった。

従って、内面 FRP 層の強化により、異物による破壊への抵抗力が一定程度増加するとともに、たとえ破壊に至っても漏水の噴出がないため基床材の支持力は保持されと考えられる。このため、異物貫入が発生した段階で管は僅かに沈下して基床材から十分な反力を受けるようになるため、それ以上の沈下は抑制されて異物貫入の進行による大規模な漏水事故に至る可能性は低下すると考えられる。

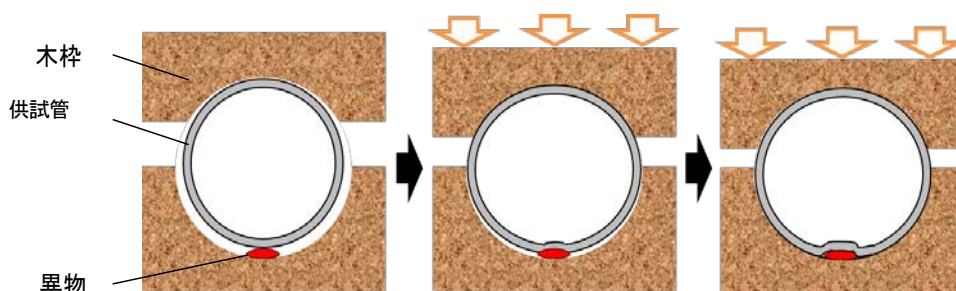


図 5.6 試験方法模式図

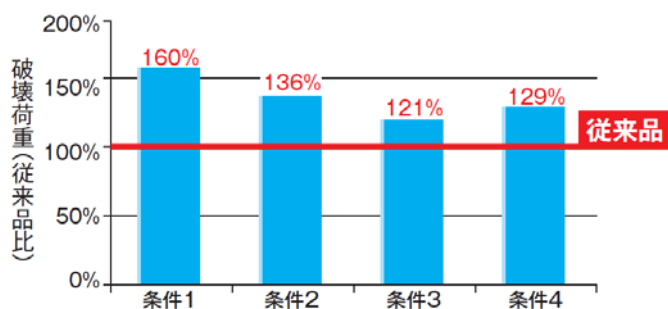


図 5.7 異物外圧試験結果



図 5.8 管内面状況 (従来品)



図 5.9 管内面状況 (強度アップ品)

(4) 強化品の新規格制定

内圧用 FRPM 管の強化プラスチック複合管協会規格「FRPM K-111-2016」には、FRPM 管の種類、品質、寸法、試験方法などが定められている。今回、強化品における製造時の品質管理項目として前述の軸方向三点曲げ試験を導入し、平成 30 年 7 月にその規格値と試験方法を定めた強化プラスチック複合管協会規格「FRPM T-003-2018」の制定を行った。

6. おわりに

FRPM 管は、良好な掃流特性による流速の確保、非腐食性材料としての長期的に安定した強度、挿し口と受け口の撓み特性の差が小さいことによる継ぎ手部の良好な水密性発揮等の技術的特長を有している。また、経済性にも優れており、一定事業費でより広い受益地のパイプライン化事業を進めて、より大きな社会的便益を発生させることができるという特長を有していることから、農業用分野でも多く採用されてきた。過去にイレギュラーな施工等による漏水事故が発生しているが、継手構造の変更、施工指導ツールの充実及び指導の徹底により、平成 18 年度以降に施工された FW 管パイプライン（FW 管施工延長の 1/2 以上）については、管体破損による漏水は報告されていない。今回報告の内面 FRP 層の強化により、管体破損に起因する漏水事故のリスクの更なる低減が可能になると考えている。

但し、今回の強化品について施工中の異物の残置や破損の放置を認めている訳ではなく、施工時には従来通り異物等を取り除くこと、また管路調査等で異物による管内面の膨れなどが発見された場合は、速やかに補修・補強を行うことが必要である。

最後に、今後も引き続き FRPM 管の実態調査や対応策の検討を継続し、農業用パイプラインの整備に貢献していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 農業土木学会誌 水土の知 2007 02 Vol.75/No.2:FW成形強化プラスチック複合管の長期性能試験
- 2) 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門,国立大学法人 茨城大学, 株式会社栗本鐵工所,積水化学工業株式会社:ひずみを指標とした強化プラスチック複合管の診断手法