

展 望

# 農業水利施設分野での施設更新とジオシンセティックスの利用

茨城大学農学部地域環境工学科 毛利 栄征

## 1. はじめに

農業用の基幹的な水利施設である用・排水路の延長は約 45,000km に達し、中小の水路も含めると約 40 万 km に達する。農地に有効な水を配水することは安定した農業を持続する上で最も重要な施策の一つであり、これまで多くの技術開発がなされてきている。新しい管材料を用いた管の製造や施工方法に関する技術の多くは、新設の管路構築を対象としており、既設管の改修方法については目立った進展はなく、革新的な技術開発が望まれる分野でもある。

生産基盤となる農業用水利施設を適切に維持・管理・更新することが重要であるが、施設の埋設条件や緊急性などの観点から、敷設替えによる更新技術だけでは、社会の要求に応えることはできず、管路更生や修復、新素材と品質管理などの技術開発が必要である。このような、老朽化の進行する既設管の適切な更新・更生について、高い内圧が作用する農業用パイプラインを対象として、ジオシンセティックスの利用にも触れながらその現状と課題を概観してみたい。

## 2. 農業用パイプラインの整備状況と更新

農業用パイプラインは昭和 40 年代から本格的に整備が始まり、基幹的な施設のストック<sup>1)</sup>は約 12,000km にのぼる。今後、標準的な耐用年数を迎える施設は図-1 に示すように急激に増加するため、単純な施設更新だけでなく耐用年数や経済性をも考慮した設計、施工方法や関連する技術開発が急務である。農業用パイプラインは小口径から 2,000mm を越える大口径のパイプラインを中山間地から沖積低地に至る広大な地域に樹状に配置し、農地や道路下の多様な地盤に埋設される。また、口径や圧力区分毎に使用する管種も異なり、高い内水圧が作用するため構造的な欠陥が壊滅的な破壊に直結するリスクが高いことも大きな特徴であろう。

農業水利施設の突発事故については、図-2 に示すように増加傾向にありパイプラインの事故件数が半数を占め、年間 200 件以上<sup>1)</sup>の事故が発生している。また、図-3 に示すように事故の発生原因は使用管種別に異なり、PC 管や RC 管では継手部変状による漏水が 7 割を占め、鋼管では管体腐食による漏水が 8 割を占める。

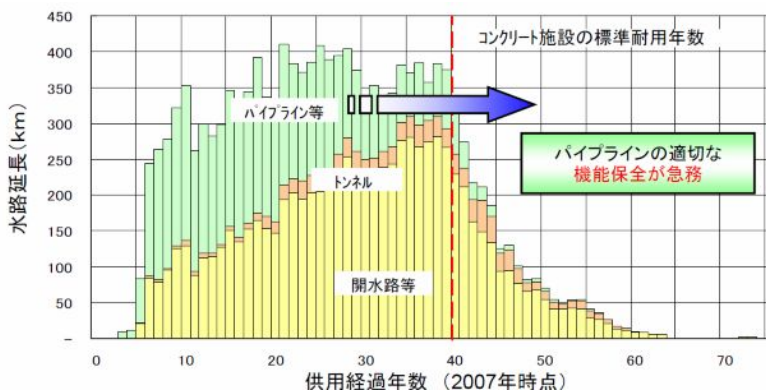


図-1 農業用の用排水路の供用経過年数と延長

○突発事故件数の増加状況(基幹水利施設)

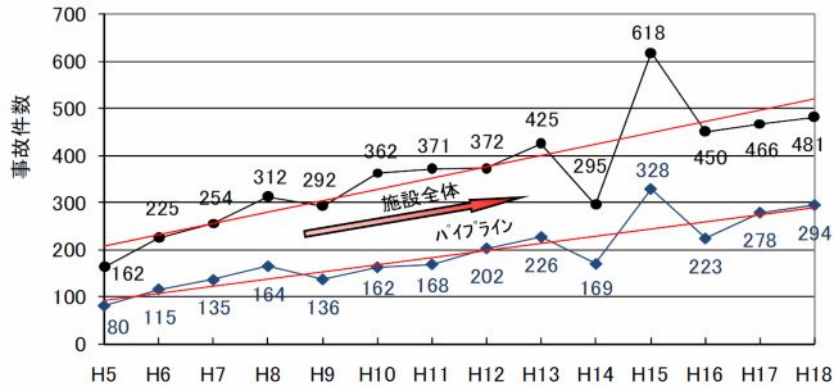


図-2 農業用施設の突発的事故的履歴

○管種別 事故発生原因の内訳

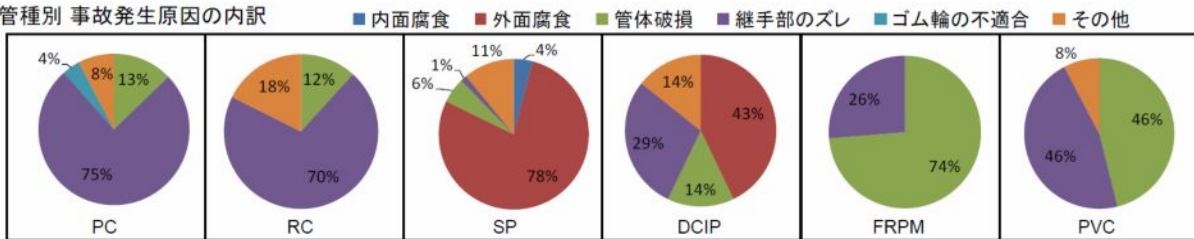


図-3 管種ごとの事故発生原因の内訳<sup>1)</sup>

### 3. 既設管の更生方法

既設管の破壊を未然に防止するためには、まず、その低下した構造的機能、あるいは水理的機能を所定のレベルまで改善する必要がある。これらの個々の機能を回復するために、いろいろな補修工法や補強工法が開発されている。構造的機能の回復・補修工法としては、(a)非開削改築工法、(b)敷設替え工法、(c)補修工法に分類することができ、それぞれの分野で多くの技術開発が進められている。非開削改築工法は、既設管を掘り起こすことなく現状の管内部に新たに管を構築するもので、構造的に危険な状態まで劣化が進行している場合にも適用できる。現在、施工実績を持つ工法としては、管内部に新管を構築する工法や新しい管を反転挿入（あるいは引き込み挿入）する工法がある。表面の摩耗防止だけでなく高分子材料被覆によって構造的機能と水理的機能の両面の機能回復を実施するものが開発されている。

既設管内に新たな管を反転挿入、あるいは引き込み挿入する更生材は、図-4に示す様なガラス繊維や樹脂などの高分子材料の複合材料で構成されており、熱や光によって現場で硬化させて新たな管を構築するものである。強度や水密性を確保するために、強化材、インナーチューブ、アウターチューブ等を構成要素とするなどの工夫がなされている。

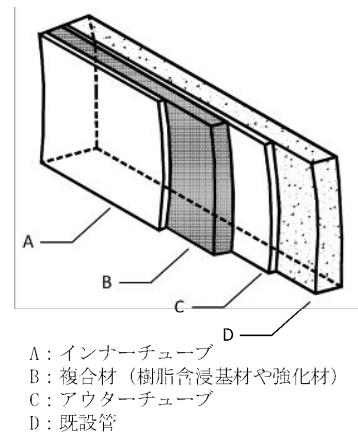


図-4 更生材の断面構成

#### 4. 補修・更新技術の現状と課題

管更生の技術は、下水管が老朽化などの劣化によって完全に破壊する前にその機能を維持・改善し、寿命を伸ばすことを目的としてイギリスで始まった技術である。当初の施工方法は、樹脂を繊維に含浸したチューブを既設管内に反転挿入した後、温水をチューブ（更生管となる）内に注入し加熱熱硬化させる方法であった。この更生管は現場硬化管（CIPP）と名付けられている。現在では、多様な材料を用いた更生管が開発されている。

構造設計では、既設管の残存強度に期待しない考え方や既設管と更生管（材）が一体となって内外力に抵抗するという考え方が提案されているが、いずれも未解明の課題は大きい。すなわち、図-5に示す様な更生された管と作用土圧の関係に論理性が無く、極めて不自然な構造設計を実施していることになる。さらに、更生材が360度全周に亘って均一ではないことも大きな課題である。

##### (1) 構造的な課題

管更生では、既設管と更生管による二重構造によって内外圧に対する安全性を確保することになるが、地中構造物の土中挙動に最も影響を及ぼす地盤と更生管の関係が十分解明されていない。例えば、「二層構造管」は、「強度低下している既設管内に新たに構築した更生管が内接し、二重構造の管を形成して既設管と更生管がともに土圧などの外力と内外水圧を負担する構造の管」であるが、その荷重分担や設計で考慮すべき土圧分布などは未解明である。構造的な機能を回復するためには、既設管の残存強度と作用外力を設計要件として適切な更生材による強化を図ることが基本であるが、現在の調査手法では既設管に残存している構造的な機能を適切に評価することができない。このため、既設管の残存強度を全く期待しないで、更生管ですべての外力を負担するとして設計する場合が多く、必然的に厚肉の更生管となる。

既設管は、劣化の進行に伴って管体にクラックが入り周辺の土圧や水圧によってパイプに変形が生じる。このように老朽化が進んだPC管やヒューム管などの剛性管を管更生（内部に新管を挿入）したものは、たわみ性管としての構造設計を適用することになっているが、管の挙動の実態と整合していない。また、地下水圧が更生管に作用した場合の安全性評価方法が解明されておらず、大きな課題となっている。すなわち、土圧と外水圧が同時に作用する状態の構造設計方法と更生材に要求される力学的な特性の解明が望まれる。農水関係の長期供用されている既設管は、管体そのもののひび割れによる強度低下よりも継ぎ手部の漏水が多いことから、更生された管は過剰に安全である可能性も指摘されているが、外水圧に対しては、座屈破壊などの重大な損傷も生じていることから、その破壊メカニズムや構造設計手法とともに信頼し得る更生材の開発は重要である。

以上のように、既設管の劣化の度合いによって、更生された管が剛性管として挙動するのか、あるいはたわみ性管として挙動するのかが決まる。現状の既設管の調査手法では、このような管の残存強度を的確に求めることはできないが、ひび割れ分布や幅などの量的な指標を用いて、いくつかの階層に老朽度分類が可能となれば、その標準的な残存強度を設定することによって設計

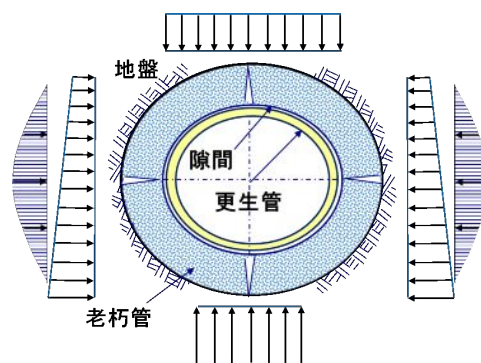


図-5 既設管のクラックパターンと構成された管の断面

体系を構築することが可能である。今後、埋設管の更生方法に関する研究は、既設管の老朽度調査結果をいかに設計に生かせる情報として提供できるのか。また、ジオシンセティックスを用いた更生管の長期的な特性の解明と品質確認、外水圧座屈に対する安全性を合理的に評価する手法開発などの系統的な展開が必要である。

## (2) 水理的な課題

更生された埋設管の水理的な機能は、新管と同様の手法で設計することが可能であるが、付帯構造物、すなわち、分岐部分やマンホールとの接続部、さらには、曲がり管部分の水理的な機能については、損失水頭や流れの乱れなど多くの問題を残している。曲がり管に挿入される更生管は、その曲管部の安全性を確保するために既設の管に 100%密着して通水断面を確保することが求められるが、更生材のしわの発生によって通水断面が縮小し流下能力の低下、材料的なウィークポイントとなることもある。このため、しわが発生しない更生材、施工方法、修復方法などの技術開発が望まれる。

## (3) 老朽化対策の難しい点

長延長に及ぶ埋設管路網は系統全体で機能を果たしているもので、システムとしての役割を保全できるように老朽化対策を進めなければならない。また、個々の施設についても老朽度の状況に応じた適切な機能回復技術を適用することが必要不可欠であるが、既設管の磨耗量の調査や亀裂の状態の把握など老朽度の調査手法の開発が十分なされていない。このため、どのような回復技術の適用が最も適切であるのかという判断を合理的に下せないという状況にある。

## (4) 更生管の品質と耐用年数

農水省のパイプラインに関する基準書<sup>2)</sup>では、パイプラインの耐用年数を40年と定めているが、これに準じて、管更生の設計で用いる更生管（硬化した樹脂管）の曲げ特性は、水中クリープ試験から得られる50年後の長期曲げ弾性係数を用いる。当初設計としては、整合性のとれた規定であるが、現場で熱や光を用いて硬化させる CIPP は硬化後の品質確認方法が統一されておらず、多くの混乱を生じる原因となっている。構造設計で要求された管厚と強度、変形性能、長期クリープ特性が保証されることが大前提であるが、小口径管の場合は、管厚さえも確認することができない。仕様では+側の管厚基準を定める場合もあるが、完了品のばらつきや出来高を確認できないことは極めて重大である。さらに、硬化方法や管内の環境の影響を受けやすい強度発現や変形性能に至っては、どのような状況で既設管内に存在しているか全く不明である。さらに、更生材の断面構造は均一ではなく円周部に接合箇所が存在するため、力学的なウィークポイントとなっている場合が少なくない。高い内圧が繰り返し作用するパイプラインにおいては、このような材料に対して慎重な試験と評価が必要であることは論を待たない。比較的品質が安定し信頼性の高い工場製品であるパイプと現場硬化型の CIPP を同列に規定することには、施工後の品質確認の面からも大きな疑問が残る。耐用年数を短く設定し経済性を高めるとともに、保全と修復でパイプライン全体の安全性を確保する選択肢もあって良い。さらに、更生管の撤去技術の開発や修復性の向上についてはこれからの大きな課題であろう。

## 5. 残された課題と展開方向

更生管が分担すべき内外水圧や荷重をどのように設定するのかは、重大な課題である。更生管の設計で用いる土圧分布や地盤反力係数は、地盤の変形係数から予測することのできない指標である。このため、数多くの実証実験と検証、更生材の開発と品質確認技術の開発を進める必要がある。具体的には、次のような課題が残されている。

- ① 更生材の均一性と長期的な安定性の解明
- ② 更生材の長期耐久性の解明
- ③ 更生管の施工管理・品質確認方法の開発
- ④ 更生管の土中挙動と安全性の解明
- ⑤ 既設管に作用する土圧の解明：既設管の変形能力と管周辺の土圧分布を明らかにする
- ⑥ 地盤反力係数の設定方法に関する研究：既設管の剛性と地盤反力係数の関係を明らかにする
- ⑦ 既設管の挙動予測手法の開発：合理的な設計方法を開発する

既設管の状況を的確に評価するためには、劣化の進行した管と地盤の挙動を明らかにすること、すなわち、管の残存強度と損傷構造（クラックの発生パターン）を明らかにするとともに、その老朽度レベルに応じた合理的な設計手法の開発が望まれる。さらには、樹脂の特性が更生管の長期曲げ特性に大きく影響することから、材料レベルでの品質確認と硬化後の現場での品質確認の方法を明確に規定し、CIPPの信頼性を高めることが重要であろう。

## 6. まとめ

老朽化の進んだ埋設管の健全性を定量的に診断することもできずに供用する状況が続き、壊滅的な事故を未然に防止することができていない。管の更生技術については多くの問題を抱えたままであるが、長大な延長の既設管の機能を効率的、かつ合理的に保全・回復することが急務であることを考えると、管路更生技術は有力な手段の一つである。工場製品の管に対する品質要求と一線を画して、CIPPの品質確保と耐用年数を別途設定することによって、新たな素材開発と施工方法も生み出される可能性が広がる。このためには、耐用年数や要求性能を明確に規定する性能設計に基づく既設管の老朽度の評価から更生管の設計・施工、品質管理、までの総合的な技術開発が急務である。このためには、ジオシンセティックスを用いた高品質の更生材の開発は欠かせない。

管の更生方法は下水道などの分野で多くの実績を有する手法で、短期間に長延長の管の更生ができるなどの特徴を有しているが、農水のように高い内水圧が作用する管路にはそのまま適用することはできない。特に、硬化後の更生管の状態把握と品質確認方法、更生材料の開発、中大口径パイプに適用可能な論理的な設計方法や施工技術の開発が期待される。

## 参考文献

- 1) 農林水産省：農業水利施設の機能保全の手引き－パイプライン編－の策定について、平成20年12月、[http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/gizyutu/h20\\_1/pdf/data04-1a.pdf](http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/gizyutu/h20_1/pdf/data04-1a.pdf) (2016/05/25 閲覧)
- 2) 農林水産省：土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」、2009.