

「農業用水路の変状とウィークポイント」

農村工学研究所 施設資源部
土質研究室長 毛利 栄 征



農業用水路も水源地から末端までがシステムとして機能する大規模なライフライン施設を構成している。その多くの施設が耐用年数を迎え更新が必要な状況になってきている。膨大な延長距離の水路を効率よく更生するためには、従来の開削新設工法だけではなく既設の水路を利用した更新技術についても積極的に技術開発を進める必要がある。これらの更新されたパイプラインは、既設の施設と同等、あるいは、さらに機能向上を求められることとなる。単なる老朽化施設の更新にとどまらず、さらに安全性の高い機能が付与されるような更生技術は大きな役割を担うものと期待される。将来のパイプラインに求められる機能については、地域によって様々で一概に定められるものではないが、高い安全性を確保するという意味では、いくつかの注目すべき点がある。今回は、視点を変えてパイプラインの被害の状況を概観し、必要な技術の一端を紹介することとしたい。

1. はじめに

農業用の水路は、水源地から圃場までの長延長に亘って適切に用水を配水する施設である。幹線の埋設管から支線の比較的小口径の管までを含んで、数十kmを超える長大な線状構造物を形成する場合も少なくない。このような、埋設管路は中山間地から沖積低地にいたる地形や地質の変化に富んだ広い地域に敷設されており、その安全性や耐久性は自ずと地盤条件に大きく左右されるため、予期せぬ変状が発生する可能性がある。

農業用水路として用いられるパイプラインは、水管橋部を除いてほとんどのラインが地中に埋設されている。このような埋設管には、地盤の変状に伴う土圧や路面荷重、地震動など様々な荷重が複合して

作用している。特に、軟弱地盤地や地形の変化点では、長期に亘って変状が継続し、予測し得なかった荷重が埋設管に作用することもある。また、地表面のごく浅い位置に埋設されるパイプラインは、地震時に被害を受けやすく、地表面から5m程の表層地盤の特性が埋設管に大きな影響を与えることが指摘されている。

すなわち、埋設管の土中挙動については、地盤や地形の局所的な特性が大きく影響していることが少なくない。これらの地盤条件や配管構造を含めた要因別に損傷形態をある程度分類することは埋設管の挙動を理解する上で有意義であると思われる。地上の利用形態が変化することに伴う埋設管の土被りの増大や地表面の交通荷重の増大、あるいは、地盤の長期的な不等沈下などの要因と地震動に伴うものでは、埋設管の挙動は大きく異なりその対策や復旧方法についても多くの選択肢がある。前者については、大きな土圧作用に起因するパイプの構造的な強度不足による破損や局所的な不等沈下によるパイプの破損が現象として表れる。後者については、埋設管の蛇行、浮上を伴う抜けだし等による漏水現象としてパイプライン全体の機能停止が生じる。いずれの場合にも、長期間の農業用水の停止は、直接的に営農に重大な支障を来すことになる。最近では、工業用水や上水も同時に供給する場合が増えてきているため、パイプライン全体の機能停止は極めて深刻な状況に発展する可能性がある。さらに、漏水による地盤の陥没や流失によって周辺地域に大きな2次災害が生じることもある。こうした観点から、埋設管の平常時の耐久性とともに地震に対する耐震性を向上するための様々な試みと技術開発がなされてきている。

新規に埋設されるパイプラインについては、地盤状況に適合する配管構造や耐震対策を採用することも可能であるが、既設の埋設管の耐久性を総合的に向上させるためには、技術的に解決すべき問題が残

されており経済的にも困難な状況にある。

ガス導管の補強・修復に採用され、下水道分野でも実績を持っている既設管内面から施工する樹脂ライニング工法は、老朽管の機能を回復する有力な技術として注目されている。このような管きょ更生工法は、老朽部分の即時的な補修に留まらず、同時に埋設管全体の機能向上の役割を担うことになるので、先の平常時の安全性とともに地震時の耐久性についても兼ね備えていることが期待される。

これらの管きょ更生工法については、別の連載記事に詳述されているので、次号以下に機能評価のための簡単な実験結果を記述することに留めて、ここではまず、更生対象となる農業用水路の変状や想定しなければならない状況を示し、更生管に期待される機能について整理することとする。

以下、埋設管の具体的な被害から、農業用水路として用いられるパイプラインのウィークポイントを整理し、その対策方法の考え方を示す。

2. 埋設管の挙動と被害状況

2.1 平常時の被害

地震動などの特別な荷重が作用しない状況下でも埋設管の事故が発生することがある。このような平常時の事故の主な形態としては、以下に示す5つを挙げることができる。

① 不同沈下に起因するパイプの破損

継手部を有する埋設管の場合には、その継手部の機能によってある程度の不同沈下に対応することが可能であるので、直線管路の場合には大きな損傷を受ける可能性は低い。しかしながら、弁室などの付帯構造物に接続する箇所では、構造物とパイプの沈下の性状が異なるため、不同沈下を生じる場合が少

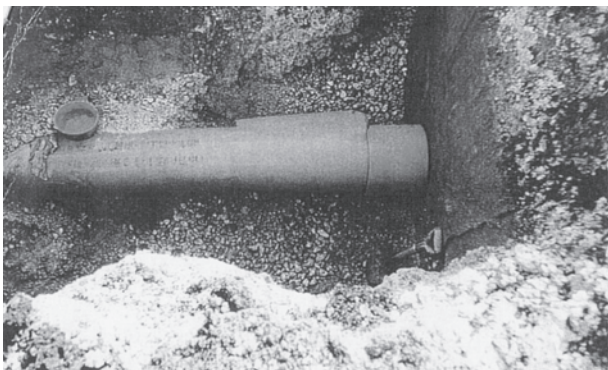


図1 不同沈下によって破断したパイプ
構造物の近くでは円周方向にせん断破壊を生じ、パイプ端部近くでは完全に折損している。

なくない。図1はマンホールに接続されている埋設管の折損状況を示している。構造物周辺での沈下を吸収するために必要に応じて伸縮可撓管を用いた配管がなされるが、事故があった地区では、本体管を直接構造物に接続している。埋設管の沈下は、地盤の特性に大きく依存しているため、一概に配管構造上の問題として結論付けることはできないが、施工中の矢板の引抜きによっても数cm～10cmの即時沈下を生じる場合もあるので、構造物部分は伸縮可撓管を採用するなどの慎重な配管設計と施工が重要である。

② 埋戻し不良による大きな撓みの発生

撓み性のパイプラインの土中挙動は、周辺地盤の特性に大きな影響を受ける。構造設計では、埋戻し地盤の特性を反力係数として評価して、使用する管の厚さや管種を求めている。しかしながら、締固めが十分実施できなかった場合や、矢板の引抜きによる地盤の緩みや近接工事に伴う埋戻し地盤の緩みなどが生じた場合には、埋設管に作用する側方土圧が低下し、鉛直土圧による撓みが大きく進行する。土地改良事業計画設計基準（パイプライン）では、撓み性の埋設管の設計撓み量を3%（締固め条件によっては4%）、許容撓み量を5%としている。土中に埋設されているパイプは、周辺の埋戻し材料が管側部に受働土圧として作用するため、パイプの撓み量を適切に抑制し、力学的なバランスを保っている。このため、パイプの破壊は、7～10%程度の撓み量で発生することが多く、許容撓み量5%と比較してそれほど大きな余裕があるわけではない。撓み量だけでは安全性を十分把握できないことが分かる。このように、既に大きく撓みが発生している既設管の更生については、統一的な考え方が示されておらず、また、更生管の安全性に関するデータも不足している。

③ 集中荷重による破損

埋設管の底部には現地盤の種類に応じて適切な緩衝層を設けることとしている。一般的に管底部の緩衝層は砂やレキ質材を用いるが傾斜した地盤にパイプを埋設する場合などで、地下水の流動によってこの緩衝層が流失する場合がある。図2、3は、埋設管が管底部で岩に接触して破壊した事例である。このような大きな破壊に至るまでには、管底部の局所的な変形（平坦化現象）やヘアークラックが発見される場合もあるが、一般的な維持管理では事前の予

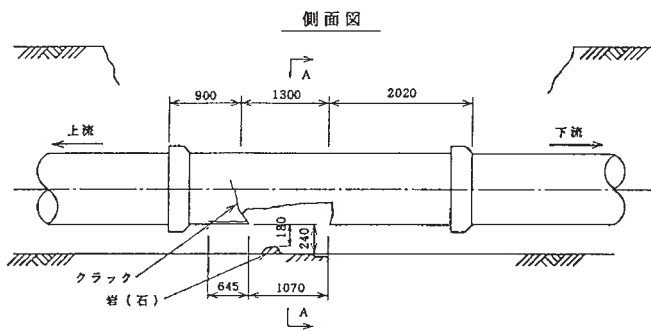


図2 破壊の状況

兆を見分けることは不可能に近い。

④水撃圧の発生による管の破裂

農業用の埋設管は、内水圧を利用して効率的に圃場までの配水を行っている。このため、1 MPaを超える高水圧パイプラインも珍しくはないが、中・低圧の埋設管が一般的である。静水圧が0.2MPa程度でも水撃圧を考慮して設計内圧は0.4MPaとして埋設管を敷設する場合がある。図4に示す埋設管は、設計上の管路長よりも実際の施工が長くなり設計以上の圧力が作用したために、管軸、円周方向に破裂したものである。破裂した箇所は、4%以上の撓みが発生していた箇所で周辺のパイプの撓み量(3%)に比べて大きく変形していたことから、撓みの不均

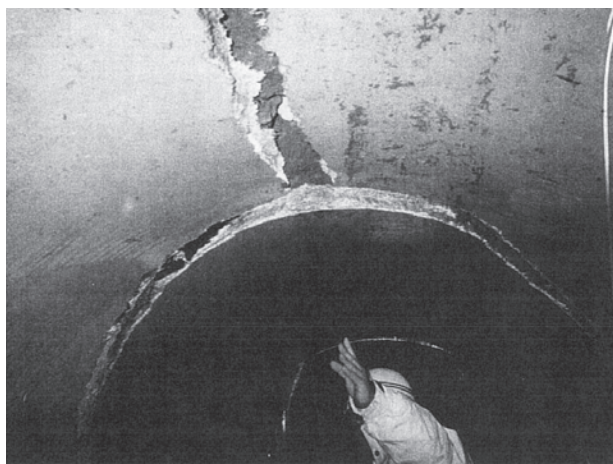


図4 水撃圧によって破壊したパイプ



図3 破壊直後の状況

左：内水圧によって管底部からパイプが側方までめくれ上がっている。
右：管底部には管軸方向にクラックが進展している。

一な部分に水撃圧による高圧が作用したことによって、パイプ自体が破裂したものと考えられる。

⑤スラストブロックの形状不良

内水圧が作用する曲管部分には、大きな不平均力が作用するため、スラストブロックを設けて埋設管の安定性を確保する。すなわち、不平均力に抵抗する大きさの受働土圧を得るために曲管部分をコンクリートで巻立ててスラストブロックとするのが一般的である。しかしながら、このスラストブロックの形状によってはブロックそのものの構造的な安全性の確認が必要な場合が出てくる。圧力の高い場合は特にパイプだけをコンクリートで防護するのではなく、ブロック自体が安定するようにコンクリートの補強配筋も含めて設計する必要がある。図5は、無筋コンクリートのスラストブロックがパイプの変形

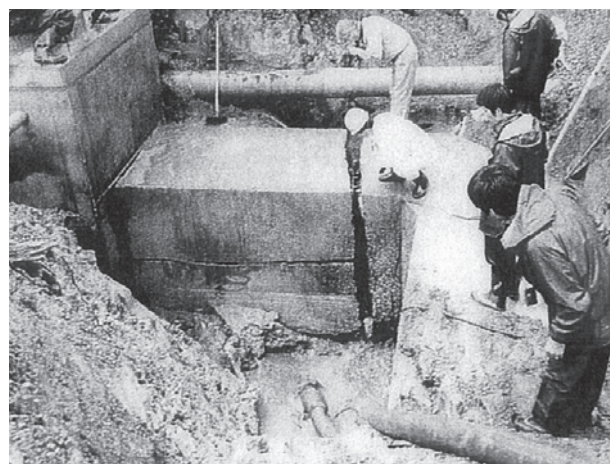


図5 スラストブロックの破壊とパイプの抜けだし
スラストブロックの構造的な欠陥による破壊

によってブロックそのものが割れた事例である。ブロックの横断クラックの部分にはパイプの接続部があり、この部分でのパイプの変形が大きく影響している。

2.2 地震時の被害

地震時の地盤の速度は、それほど大きくないので地盤と埋設管は一体となって挙動すると考えられるが、さらに大きな地震動を受けた場合には、局所的に埋設管と地盤との間にすべりが発生し、破壊に至ることもある。設計基準で採用されている応答変位法は有力な設計手法であるが、埋設管が抜け出すような極限状態を予測することはできない。このため、地震時の限界状態の挙動を正確に理解する上で、被災の事例は大いに役立つ情報である。これまでの地震被害の調査から以下のような埋設管の状況が確認されている。

①地盤振動による継手部の離脱

地盤の振動が大きい場合や特に構造物に隣接している部分などで、パイプと構造物の振動性状が異なる場合には、接続部周辺での変形の位相差によってパイプのせん断破壊や抜け出しが生じやすい。図6は直径200mmの塩ビ管の継ぎ手部が離脱した状況を示している。

②曲管部のパイプの離脱

曲管部分には、内水圧によって大きな不平均力が作用している。平常時にはバランスが取れている曲管構造であっても、地震動によってスラストブロック背面の地盤の軟化や液状化による極端な強度低下を生じた場合には、所定の受働土圧がスラストブロックに作用しないために、ブロックが全体的に大きく移動する。このため図7に示すようにブロックに接続しているパイプ本体が離脱して大きな被害を生じることとなる。

③地形の変化点でのパイプの離脱

丘陵地形の上部では地震動の振幅が大きくなりやすく、構造物も同様に大きく変位することが多い。また、その斜面下部でも地震動のひずみが集中しやすく、斜面のすべりとともに地盤の崩壊が発生することがある。図8は地形の変化点の斜面上部に設けられた空気弁の部分での変状を示している。この空気弁工は地震時に30cmの移動を生じて、接続して

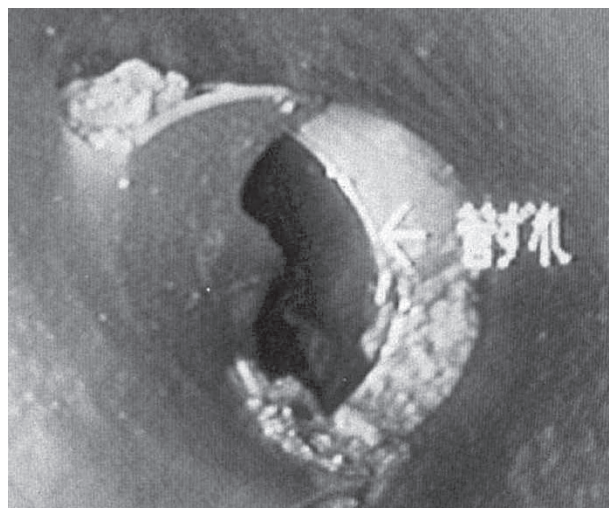


図6 地震動によってズレと破損を生じた管路



図7 スラストブロック部での変状(上)と管の抜けだし(下)



図8 マンホールの移動に伴う管の離脱
斜面の上部に位置する地形の変化点での状況



図9 液状化によって浮上したマンホール
地表面は20cm以上の沈下を生じ、管路は大きな不陸が発生している。

いたパイプが完全に離脱している。

④地盤の液状化に伴うパイプの蛇行やマンホールの浮上

地盤が液状化した場合には、単位体積重量が 19.62kN/m^3 近い重い液体となる。このためコンクリートパイプであっても浮上する可能性がある。特に、図9に示すような集落排水のマンホールなどは、軽量であるため大きな浮上を生じることがある。管路周辺の地盤が液状化した場合には、管の変状を予測することは困難であるが、継手管路の場合は、蛇行や不陸の発生に伴って完全に抜け出すこともある。一方、一体管路の場合は、比較的滑らかな蛇行を生じて通水機能を維持している状況も少なくない。このことは、被災直後の用水を確保することだけでなく、2次被災を防止する上で大きな機能であると考えられる。

3. 埋設管の変状と更生・対策

既設の埋設管はその経過年数に応じて劣化が進行し所定の機能を発揮できなくなる状況がくる。その劣化の状況は、管種によって様々であるが、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。

これらの技術は、現状の損傷状況を前提とした機能回復に焦点を当てており、材料や施工面での成果の報告があるが、更生後の機能向上と許容限界についての議論が不足している。継ぎ手を有する管路が更生され一体管路となる場合については、全く異なる特性を有する構造物として機能することになるので、平常時の水理的、構造的な安全性の向上だけでなく、地震時の耐震性向上についても、さらに具体的な成果が期待される。今回、示した埋設管に生じる様々な損傷や破壊の形態は、埋設管路の機能を完全に喪失するような大きなものを取り上げたが、埋設管路全体の機能を回復し、安全性を向上するためには不可欠な視点を示している。構造物周辺の管路が有すべき機能と直管部分の管に与えられる機能は随分と異なる。このような差異を考慮して適切な更生による機能回復が、今後の大きな課題であると思われる。

次号については、内水圧が作用する農業用水路の更生を前提として、更生管の材料的な性能試験の結果を紹介して将来の設計手法や評価・管理基準の整備への動きを紹介することとする。

表 被災事例から見た農業用パイプラインのウィークポイント

ウィークポイント	項目	原因・内容
① 地震動の大きさ	地震動の大きさと被害の程度	① 震度5以上の地域に被害が集中 ② 軟弱地盤では震度4でも被害が生じる。
② 軟弱な表層地盤が厚い区間	軟弱地盤と被災の関係	① 軟弱地盤と液状化した砂地盤地域に、管の沈下・移動・継目の離脱・目地開放・漏水などの被害が集中している。 ② 砂質土、粘性土、有機質土、高い有機質土の順に発生している。(宮城沖地震) ③ 硬い花崗岩上に敷設されたパイプラインは、比較的被害が少ない。(兵庫県南部地震)
③ 液状化を生じる砂地盤等	液状化地発と被災の関係	① 液状化した砂地盤では、管の移動、継手の離脱・破損などにより漏水が生じている。 ② 付帯構造物付近では、構造物の沈下、パイプの沈下・浮上・水平移動による相対変位によって、継目離脱・破損・目地開放を生じている。 ③ また、砂地盤の圃場内の排水路では、付帯構造物が沈下傾斜し、RC、VP管の破損・沈下・隆起などによる目地の離脱を生じて管内に砂詰りを生じている。
④ 道路・盛土などの上載荷重がかかる部分の横断部(軟弱地盤)	道路等の横断部と被災の関係	① 道路横断部は上載荷重が変化するため不同沈下しやすい。 ② 農地造成工事により荷重条件が変化した区間で、管路の移動・沈下が生じている。
⑤ 地質の急変部	地質の急変部と被災の関係	① 地盤の振動が異なるのが主因 ② 被災箇所は、軟弱地盤、地形・地質の変化点に多い。 ③ 旧沼地との境界付近に被災箇所が多い。
⑥ 地形の急変部	地形急変部と被災の関係	① 地盤の振動が異なるのが主因 ② 段丘から低地に変化する地点のパイプラインが大きな被害を受けている。
⑦ 付帯構造物との接合部付近の管路	構造物の接合部と被災の関係	① 軟弱地盤では、付帯構造物等の周辺管路が移動・沈下し、継手の離脱・管体のずれ等を生じた。 ② 砂地盤では、付帯構造物が移動・沈下・傾斜したため、これに接続する管路が離脱・沈下等を起こしている。
⑧ 地震時動水圧の影響	地震時動水圧の影響	① スラストブロックなど付帯構造物の大きな変状は、内水圧によるスラスト力と、埋戻し材の液状化による支持力低下が重複して生じたものと考えられる例がある。