

〔農工研技報 213〕
201～215, 2012〕

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による 国営隈戸川農業水利事業における農業用パイプラインの被災と復旧

有吉 充*・毛利栄征**・浅野 勇***・上野和広*

目 次

I 緒言	201	2 個別地区の被害	204
II 過去の地震による農業用パイプラインの被害	201	VI 復旧	213
III 調査地区の概要	201	VII 結言	214
IV 地震の概要	202	参考文献	214
V 農業用パイプラインの被害	203	Summary	215
1 被害の概要	203		

I 緒言

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方と関東地方では広い範囲にわたって震度 5 強以上を観測し（最大で宮城県栗原市にて震度 7）、太平洋沿岸部には津波が襲来したため、甚大な被害が発生した。農地・農業用施設関係では、ダム、ため池、水路、農地、農業集落排水処理施設、農道などが被災している。農業用パイプラインにおいては、管路継手部での離脱や液状化によるパイプラインの不陸及び付帯構造物の浮上、埋戻し土の沈下などの被害が広範囲にわたって発生している。本稿では、特に被害が大きかった福島県の国営隈戸川地区の被災状況と復旧方法等について報告する。なお、調査については、2011 年 3 月 28～29 日に被害の大きかった箇所の地表面及び管内の調査、2011 年 5 月 16～17 日に地表面からの全線の踏査を実施している。

本調査にあたっては、農林水産省東北農政局隈戸川農業水利事業所より被災状況の説明及び資料提供を賜りました。また、推計震度分布図は気象庁、加速度記録は気象庁と（独）防災科学技術研究所のデータを使用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

II 過去の地震による農業用パイプラインの被害

農業用パイプラインは過去の大きな地震により被災を

している。被災状況は、原地盤、基礎材料及び埋戻し材料の種類や剛性、管種及び継手の種類、パイプ敷設箇所の地形などにより大きく異なる。新潟地震（1964 年）、釧路沖地震（1964 年）、日本海中部地震（1983 年）、兵庫県南部地震（1995 年）、新潟県中越地震（2004 年）等の過去の地震被害から、パイプラインの被害は以下に示す特徴があることが知られている（（社）農業農村工学会、2009）。①マンホール、スラストブロック等付帯施設との接続部における管体離脱、②軟弱地盤や地形、地質が変化する境界での管体離脱、③埋戻し砂あるいは原地盤の液状化現象によるパイプの変状、④斜面崩壊に伴うパイプの移動、⑤斜面法肩部に設置した構造物周辺でのパイプの離脱、などである。また、農業用パイプラインには内水圧が作用しているため、離脱に伴う漏水で、地盤の流亡や交通障害などの二次被害を引き起こすこともある。

III 調査地区の概要

国営隈戸川地区は、福島県中通り地方の南部に位置し、須賀川市外 1 市 2 町 3 村にまたがる水田約 3300ha の福島県内有数の農業地帯である。農業用水は、国営白河矢吹土地改良事業（昭和 16 年度～昭和 39 年度）で造成された羽鳥ダム、隈戸川等に依存しているが、地区内の河川はいずれも自流量に乏しく、ため池も小規模なため、水路の堰上げや揚水機による反復利用、番水等による水利用を余儀なくされており、恒常的な用水不足の状況にある。また、用水施設の老朽化により維持管理に多大な労力と経費を要している。そのため、頭首工、揚水機上及び用水路の改修事業を実施してきており、幹線パイプラインについては、平成 6 年から平成 21 年度に改修を行い、平成 22 年度からは灌漑用水の供給を開始した。

幹線パイプラインの路線図を Fig.1 に示す。日和田頭首工を起点として、直径 1.35m～2.6m のパイプライン

* 施設工学研究領域土質担当

** 施設工学研究領域長

*** 施設工学研究領域施設機能担当

平成 23 年 12 月 14 日受理

キーワード：東日本大震災、農業用パイプライン、液状化、現地調査、復旧

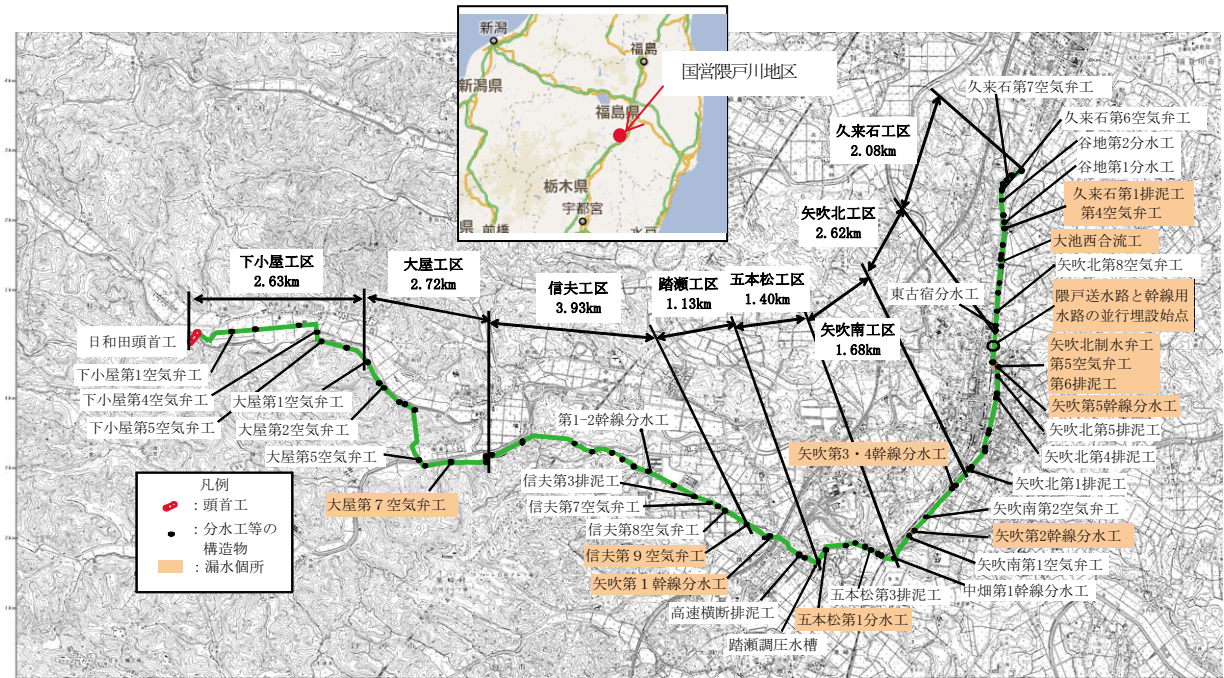


Fig. 1 国営隈戸川地区の幹線パイプライン平面図
Plan view of Kumadogawa irrigation project

が8工区に分かれ施工され、施設延長は約17.8kmである。上流側（下小屋工区、大屋工区、信夫工区、踏瀬工区）のパイプは主に山間地、下流側（五本松工区、矢吹南工区、矢吹北工区、久来石工区）のパイプは主に平野部で市街地にも敷設されている。山間地の地層は白河層（凝灰岩）が主体で構成されている。また、山間地での地下水水位は比較的低いが、パイプラインの路線の右岸側は山地地形の区間が多く、降雨時には山側から幹線に雨水が流入する。一方、平野部は、中高位の段丘堆積物からなり、盛土層に続いて、粘性土層、砂質土層、砂礫層の互層で構成されており、全体的に軟弱地盤である。一例として、矢吹第5幹線分水工付近のボーリング図を Fig.2 に示す。パイプが敷設されている約5mより浅い部分にN値が10以下の地層が存在する。また、地下水水位は常時高く、特に水田に隣接している区間では、かんがい期にその傾向が著しい。なお、使用されている管種は、一部の推進工法区間ではダクタイル鋳鉄管、鋼管であるが、その他の多くの区間については、強化プラスチック複合管（FRPM管）である。

IV 地震の概要

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖の深さ約24kmを震源として、マグニチュード9.0の地震が発生した。この地震により、宮城県栗原市では震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県においても震度6強を観測したほか、東北地方から関東地方にかけて広範囲にわたり震度5強以上を観測した（Fig.3）。

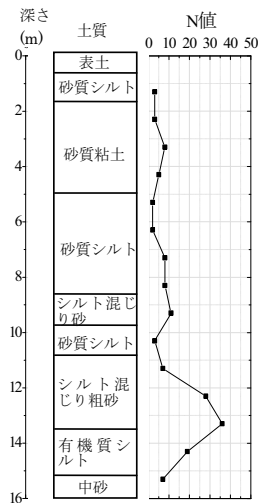


Fig. 2 ボーリング柱状図
Boring log

本調査地区の隈戸川地区においては、須賀川市に独立行政法人防災科学技術研究所の地震計が設置されており、震度6強を記録している。須賀川での最大加速度は、南北方向で672gal、東西方向で493gal、鉛直方向で298galとなっており、東西方向及び南北方向では100galを超える加速度が約100秒続いており、非常に長時間にわたって地震動を受けている（Fig.4）。金田ら（2007）によると、地震動の時間が長いと過剰間隙水圧の消散が遅れ、液状化の継続時間が長くなる。そのため、本地区においても、パイプ周りの基礎材料に砂を使用し、且つ、

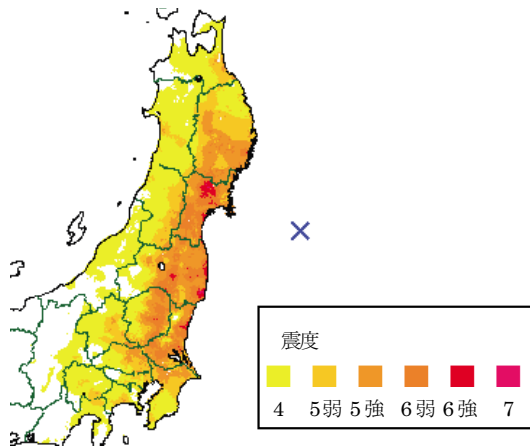


Fig. 3 推計震度分布図（気象庁）

Distribution of estimated seismic intensity of the main shock (JMA)

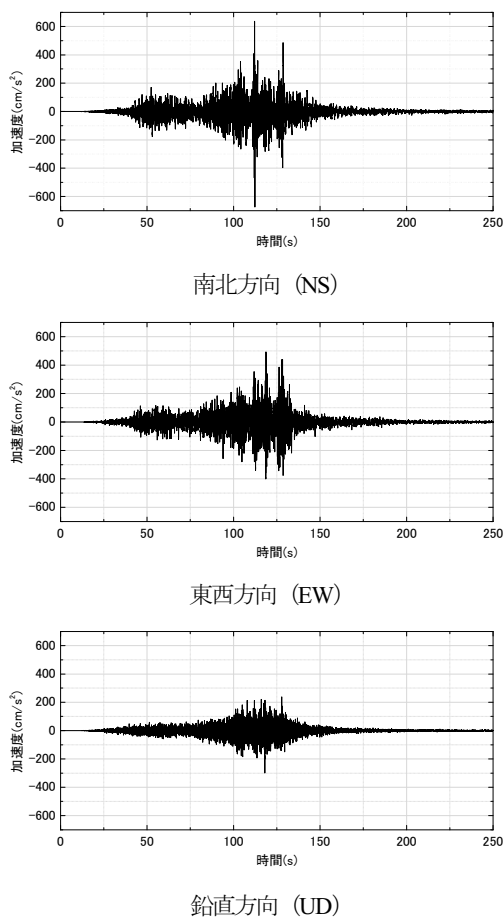


Fig. 4 須賀川 (K-net) の加速度波形
Accdleration waves of Sukagawa (K-net)

地下水位が高い箇所においては、比較的長時間にわたり基礎材料の液状化が生じた可能性がある。また、加速度応答スペクトルをみると、須賀川の卓越周期は 0.4 秒となっており、山古志や神戸での地震動よりも短周期成分が大きい (Fig.5)。一方、中低位層の建物に大きな被害を与える 1~2 秒の加速度応答スペクトルは神戸や山古志と比較すると小さい。このような 1~2 秒の周期の地震波が少なかったことが、震度 6 強の地震においても建

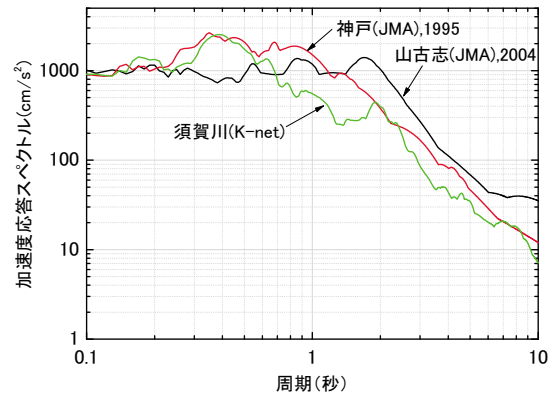


Fig. 5 須賀川 (K-net) の加速度応答スペクトル (東西方向)
Acceleration response spectrum of Sukagawa (K-net) (EW)

物の被害が比較的少なかった原因と推察される。

V 農業用パイプラインの被害

1 被害の概要

国営隈戸川地区では、地震により、継手部での離脱、パイプラインの不陸、分水工などの付帯構造物の浮上、パイプ敷設箇所の路面の沈下などの被害が生じた。被害の概要を Table 1 に示す。管の離脱は 3 箇所で見られ、発生率は 0.07% (全体は 4110 箇所)、管理上の許容値 (たわみ率、継手部目地間隔、継目試験での漏水) を超えた箇所は 145 箇所で見られ、発生率 3.6% である。継手部目地間隔の許容値については、Fig.6, Fig.7 及び Table 2 に一例を示している。その他の被害として、管の不陸、付帯施設の被害、管上部の路面の変状等の被害が見られた。これらの被害の状況や程度は、パイプが敷設された箇所の地形などにより大きく異なっている。地盤と被害の関

Table 1 被害の概要
Damage to pipeline

対象施設	被災状況	被災箇所数
管路施設	管の離脱	3
	管のたわみ量が直径の 5% (許容たわみ率) 以上	39
	継手部目地間隔が許容値以上	101
	継手部目地間隔が許容値以内だが継目試験 (テストバンドで試験水圧を与えて、5 分後の水圧が試験水圧の 80% 以上を保持しているかの確認) で漏水 (不合格)	4
	継ぎ輪部の目地間隔が許容値以上	1
	管の不陸による管内滞水深さが 5cm 以上	77
	付帯施設の浮上・沈下	11
付帯施設	分水管や排泥管の変状	7
	付帯施設周辺の外構、舗装の変状	9
管理道路	管上部の路面の変状	26

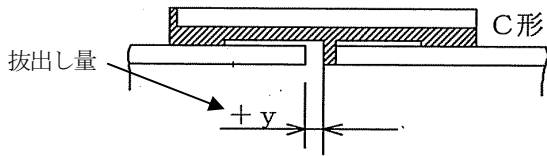


Fig. 6 継手拔出し量 (FRPM 管, C 形)
Joint displacement

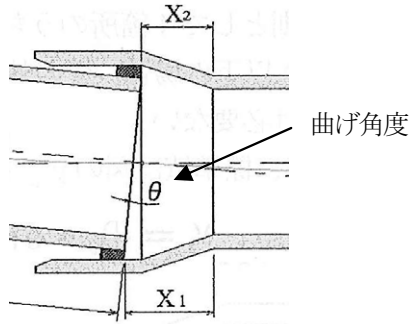


Fig. 7 継手の曲げ角度
Joint bend angle

Table 2 継手部目地間隔の許容値の例 (FRPM 管 C 形)
Allowable distance of FRPM pipe joint

口径	拔出し量の許容値 (軟弱地盤) y (mm)	許容曲げ角度 θ (°)	継手間隔の差 X ₁ - X ₂ (mm)
1800	53	2.50	82 以下
2000	63	2.50	91 以下
2200	63	2.50	100 以下
2400	75	2.50	109 以下

係を見てみると、山間地が多い上流側の工区では被害が小さく、平野部が多い下流側の工区では被害が多く発生していた。以下、地上踏査等の調査結果を上流側から工区毎に報告する。

2 個別地区の被害

a 下小屋工区

下小屋工区はパイプラインの路線の最上流部に位置し、隈戸川から日和田頭首工 (Fig.8) により取水を行っている。工区の全長は 2.63km で、鋼管 (0.92km) と FRPM 管 (1.71km) が使用されている。なお、基礎材料は 360° 全周が砂である。本工区では、曲管の周辺部の 1 箇所では拔出し量が許容値を超えたが、他の管路の被害は見られなかった。曲管部では、内圧による不平衡力、地震時動水圧、地震による地盤剛性の低下などにより管体が移動し、拔出しなどの被害が生じやすい。このため、今回の地震においても曲管部周辺に被害が多く発生している。本工区では、周辺に水田が広がる農道下と山間地にパイプラインが主に敷設されているが、Fig.9 ~ 12 に見られるように、大きな路面の沈下や構造物の変状など



Fig. 8 日和田頭首工
Hiwada head work



Fig. 9 下小屋第 1 空気弁工の周辺
Road around Simogoya No.1 air valve



Fig. 10 下小屋第 4 空気弁工
Simogoya No.4 air valve



Fig. 11 下小屋第 5 空気弁工
Simogoya No.5 air valve



Fig. 12 下小屋第 5 空気弁工
View around Simogoya No.5 air valve

の被害は見られなかった。

b 大屋工区

管路の敷設長は 2.72km で、河川横断部には鋼管が使用されており、他の区間については、FRPM 管が使用されている。一部区間では、浅埋設工法（ジオグリッドを用いて土被りを小さくしてパイプを敷設する工法）と曲げ配管工法（直管を継手部にて設計曲げ角度以内で屈曲させて接続する工法）（Fig.13）により施工されている。

本工区では、大屋第 2 空気弁工（Fig.14）のような構造物の周辺で、管の不陸、許容値を超える抜出し、継目



Fig. 13 曲げ配管工法
Curved pipeline



Fig. 14 大屋第 2 空気弁工
Oya No.2 air valve

試験での漏水が生じた。山間地に設置された構造物では地表部での大きな変状は見られなかったが（Fig.14 及び 15），平野部では大屋第 5 空気弁工（Fig.16）のように周辺地盤と段差が生じている箇所も見られた。また、曲管周辺では、許容値を超える管の抜出しが生じている。曲げ配管工法を採用した区間では、地震後の目地間隔は施工直後と比較してほとんど変化をしておらず、許容値を超える抜出しは生じていないが、継目試験で不合格となったため、復旧の対象となる区間があった。被害が生じた区間の 1 つは、左岸側が下り斜面となっており、Fig.17 に示すよう周辺の地表面で法肩のすべりが発生していた。なお、浅埋設工法の区間については、空気弁工



Fig. 15 大屋第 1 空気弁工
Oya No.1 air valve



Fig. 16 大屋第 5 空気弁工
Oya No.5 air valve



Fig. 17 パイプ敷設道路のすべり（大屋第 7 空気弁工周辺）
Slope failure of the road above a pipeline around Oya No.7 air valve

周辺では不陸が生じている箇所もあったが、他の上流側の工区に敷設されている多くの箇所と同様に、直線部での被害は見られなかった。

c 信夫工区

信夫工区は、3.93kmにわたりFRPM管が敷設されている。空気弁工などの構造物及び曲管周辺で、不陸及び継目試験での漏水が生じた。また、それに加えて、直線部においても不陸の被害が発生している。直線部での被害は信夫第7空気弁工 (Fig.18)、信夫第8空気弁工付近 (Fig.19) 及び信夫第9空気弁工付近 (Fig.20) で数十mにわたり発生しているが、どの箇所においても左岸側が下り斜面となっており、路面に亀裂が発生し、地盤に大きな変状が生じている。地震動による地盤の変状に伴って、パイプに被害が生じたと推察される。

多くの空気弁工では、第1-1幹線分土工 (Fig.21) のように浮上や大きな変位などは見られなかったが、第8空気弁工については、空気弁工周辺に噴砂の跡が確認され、地震直後は地盤の一部が液状化をしていた可能性がある (Fig.22)。また、信夫第3空気弁工周辺では、斜面の崩壊が生じていた (Fig.23)。なお、本工区におけ



Fig. 20 パイプ敷設道路の亀裂 (信夫第9空気弁工周辺)
Cracks on the road around Shinobu No.9 air valve



Fig. 21 第1-1幹線分土工
No.1-1 division works of main pipeline



Fig. 18 パイプ敷設道路の亀裂 (信夫第7空気弁工周辺)
Cracks on the road above a pipeline around Shinobu No.7 air valve



Fig. 22 信夫第8空気弁工
Shinobu No.8 air valve



Fig. 19 パイプ敷設道路の亀裂 (信夫第8空気弁工周辺)
Cracks on the road around Shinobu No.8 air valve



Fig. 23 信夫第3排泥工周辺の斜面崩壊
Slope failure around Shinobu No.3 blow off

る浅埋設工法の区間では、曲管付近での継目試験の漏水があったが、直線部での被害はなかった。

d 踏瀬工区

踏瀬工区では、FRPM管、鋼管、ダクタイル管が1.13kmにわたって主に山間部に敷設されている。本工区での被害は少なかったが、曲管周辺での不陸、許容たわみ率の超過が合計3箇所で見られている。許容たわみ率を超過した箇所は、踏瀬調圧水槽の付近で、地表面ではFig.24のように見られるようにアスファルトに亀裂が多数発生しており、地盤にも大きな変状が生じている。それに加えて、パイプ（FRPM管）周辺の材料が変化する場合、許容値を超える抜出しが発生している。この箇所では、上流側のパイプでは砂で埋戻しているが、下流側のパイプでは鞘管工法を採用しておりパイプ周辺は中込材（エアモルタル）で充填されている。パイプ周りの材料の剛性が著しく異なるために、地震動に対するパイプの応答が異なり、許容値を超える抜出しが発生したと考えられる。また、高速横断排泥工周辺では、斜面に亀裂が発生し、踏査時（2011年5月17日）には、亀裂の進展を防ぐため、ブルーシートが敷かれていた（Fig.25）。

e 五本松工区

五本松工区では、FRPM管及び鋼管が1.40kmにわた

り敷設されている。排泥工周辺での管の不陸と、五本松第1排泥工より下流約50mの箇所にある片落管（φ2400-2000mm）の継手部での離脱（Fig.26）、離脱箇所周辺での許容値を超える抜出し及び不陸の被害が発生した。五本松第1排泥工周辺では液状化が発生しており、排泥工と地面で約0.5mの段差が生じていた（Fig.27）。また、排泥工周辺には噴砂が見られた。Fig.26に示す離脱した片落管は口径が変化しているために、内水圧により不平衡力が作用する。不平衡力の対策でスラストブロックが設置される場合もあるが、この箇所ではスラストブロックは設置されていなかった。地震時には、動水圧が作用し、さらに地震動及び液状化により地盤の剛性が低下したために、管に離脱が生じるほどの変位が生じたと考えられる。この箇所では、離脱に伴って漏水が生じ、幅10m×10m、深さ約3mの陥没が生じ、下流に向かって地盤が流亡している。

この付近では、管の不陸も生じているため、106mにわたって敷設替えを行う。また、五本松第3分水工では、アスファルトに段差が生じていた（Fig.28）。分水工の上下流のパイプ2本ずつに不陸が生じており、敷設替えを行う予定である。また、中畑第1分水工等（Fig.29）その他の区間については、復旧を要する大きな被害は発



Fig. 24 踏瀬調圧水槽
Fumase surge tank



Fig. 26 五本松第1分水工周辺の片落管の離脱
Separation of a reducer around Gohonmatsu No.1 division works



Fig. 25 高速横断排泥工周辺
View around highway crossing blow off



Fig. 27 五本松第1分水工の浮上
Uplift of Gohonmatsu No.1 division works



Fig. 28 五本松第3分水工の路面亀裂
Cracks on the road at Gohonmatsu No.3 division works



Fig. 29 中畑第1幹線分水工
Nakahata No.1 division works of main line

生していない。

f 矢吹南工区

矢吹南工区は平野部が多く、鋼管とFRPM管が1.68kmにわたり敷設されている。矢吹南第1空気弁工 (Fig.30) で生じたような付帯構造物の浮上と、矢吹南第2幹線分水工周辺 (Fig.31) で生じた地面の陥没等の被害が発生している。矢吹南第2幹線分水工周辺では、FRPM管 (φ1800mm) が最大で約1.4m浮上しており、地表面も管中心位置で大きく盛り上がり、亀裂が生じている (Fig.32 及び 33)。また、矢吹南第2空気弁工周辺においても約300mにわたりFRPM管 (φ2200mm) が浮上しており、地表面には大規模な亀裂が生じている (Fig.34)。この亀裂の深さは最大で1.6m以上であった (Fig.35)。矢吹南第2空気弁工は Fig.36 に見られるように地表面と約1.5mの大きな段差が生じている。この付近において管内調査を行ったが、Fig.37 に示すように直線部においても不陸により滞水が生じていた。直線部でこれほどの被害が発生したのは、基礎材料の液状化によるものと考えられる。基礎材料が完全に液状化した場合、液状化地盤の比重は1.8-2.0であるため、パイプ及び分水工に作用する浮力は同様に1.8-2.0倍に増加する。そのため、パイプ周辺の基礎材料が液状化をすると、浮力が増大してパイプは浮上することとなる。本地区においては、一部でパイプ

が沈下している箇所もあったが、そのような箇所では、管底部などのパイプの周辺地盤の一部が液状化して、局部的にせん断抵抗力が低下し、パイプに大きな変位が生じて、不陸や継手部での抜出しなどの被害に繋がったと考えられる。空気弁工など構造物の浮上については、矢吹南第2空気弁工の場合 (Fig.38)、空気弁工の比重は約1.4 (パイプが充水していたとして試算) なので、液状化が生じると、地下水位が高い場合には、今回のように浮上することとなる。矢吹南第2空気弁工の場合、液状化地盤の比重を2.0と仮定すると、地下水位が空気弁工の底面から約1.8mの状態では浮上することとなる。また、液状化の被害は、山間地ではほとんど発生しておら



Fig. 30 矢吹南第1空気弁工の浮上
Uplift of Yabukiminami No.1 air valve



Fig. 31 矢吹南第2幹線分水工の路面陥没
Cave-in in the road surface at Yabukiminami No.2 division works



Fig. 32 パイプ敷設道路の亀裂 (矢吹南第2幹線分水工周辺)
Cracks on the road around Yabuki Minami No.2 division works

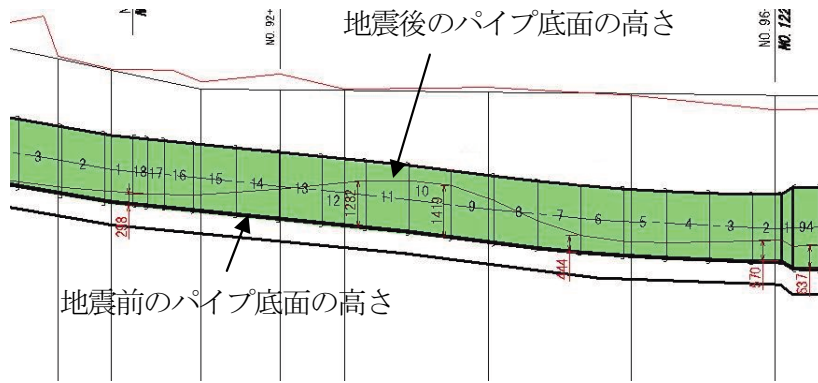


Fig. 33 矢吹南第 2 幹線分水工周辺 (Fig.30) の縦断図 (赤：地震後の位置, 単位 mm)
Longitudinal profile at the point of fig.30



Fig. 34 パイプ敷設道路の亀裂 (矢吹南第 2 空気弁周辺)
Cracks on the road around Yabukiminami No.2 air valve



Fig. 36 矢吹南第 2 空気弁工の浮上
Uplift of Yabukiminami No.2 air valve



Fig. 35 パイプ敷設道路の亀裂 (矢吹南第 2 空気弁工)
Cracks on the road around Yabukiminami No.2 air valve



Fig. 37 不陸により滞水しているパイプ (矢吹南工区)
Stagnant water due to unevenness of pipe at Yabukiminami subsection

ず、平野部で多く生じているが、これは、地下水位によるところが大きいと思われる。平野部では地下水位が高く、液状化を生じやすい状態にあった。また、矢吹第 3・4 幹線分水工でも路面の陥没 (Fig.39)、構造物の浮上及

び路面の亀裂などの被害が生じている (Fig.40)。この箇所においても、管の不陸が生じているため、17m にわたって敷設替えを実施する。また、矢吹北第 1 排泥工周辺では、路面が大きく沈下しており、ここに敷設されているパイプには亀裂が生じている (Fig.41)。さらに、矢吹南第 2 分水工から約 140m 下流側にある片落管 (φ 2200-1800mm) に設置していたスラストブロックが破損をしており (Fig.42)、地震時には非常に大きな荷重がコンクリートに作用していたことがわかる。

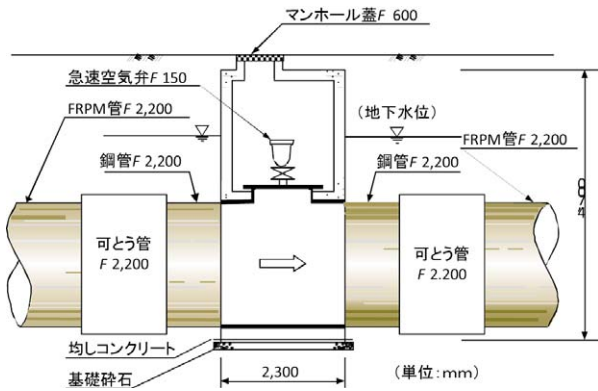


Fig. 38 矢吹南第2 空気弁工の断面図
Cross section of Yabukiminami No.2 air valve



Fig. 41 パイプ敷設道路の亀裂 (矢吹北第1 排泥工周辺 (矢吹南工区))
Cracks on the road around Yabukikita No.1 blow off main pipeline



Fig. 39 矢吹第3・4 幹線分水工の被害
Damage to the Yabuki No.3・4 division works of main pipeline



Fig. 42 スラストブロックの破損 (矢吹南工区)
Damage to thrust block at Yabukiminami subsection



Fig. 40 パイプ敷設道路の亀裂 (矢吹第3・4 幹線分水工周辺)
Cracks on the road around Yabuki No.3・4 division works of main pipeline



Fig. 43 矢吹北第1 排泥工のマンホール
Manholes at Yabukikita No.1 blow off

g 矢吹北工区

管路の敷設長は2.62kmで、FRPM管、鋼管、ダクタイル管が、平野部の主に市街地に敷設されている。本工区では、曲管や構造物周辺のパイプに加えて直線部におけるパイプの不陸、許容値を超える抜出し、構造物の浮上・傾きの被害が生じている。

矢吹北第1 排泥工では、道路の沈下により、**Fig.43**に示すようにマンホールと周辺地盤で約10cmの段差が生じている。また、第4 排泥工付近では路面が沈下してい

る (**Fig.44**)。この箇所では、排泥工を設置するために、上下流のパイプと比較して、約2m低いところにパイプが敷設されており、土被りもその分多くなっている。そのため、埋戻し土の沈下量が周辺よりも大きくなったと推察される。また、矢吹北第5 排泥工周辺では広範囲にわたり液状化が生じており、基礎材料の噴砂が確認された (**Fig.45**)。矢吹北第5 排泥工は大きく浮上して、傾きが生じている (**Fig.46**)。この付近では、管の不陸、許容値を超える抜出しにより、188mにわたり敷設替え



Fig. 44 矢吹北第 4 排泥工の路面の沈下
Settlement of road surface around Yabukikita No.4 blow off



Fig. 47 片落管の離脱
Separation of a reducer



Fig. 45 パイプ埋戻し材料の噴砂（矢吹北第 5 排泥工周辺）
Sand boil on a road around Yabukikita No.5 blow off



Fig. 48 パイプ敷設道路の沈下（東古宿分木工周辺）
Settlement of road around Higasihuruzyuku division work



Fig. 46 矢吹北第 5 排泥工の浮上
Uplift of Yabukikita No.5 blow off



Fig. 49 パイプ敷設道路の亀裂（矢吹北第 8 空気弁周辺）
Cracks on the road around Yabukikita No.8 air valve

を行う。また、矢吹北第 7 空気弁より約 150m 上流で、片落管（φ 1350-1800mm）の離脱が生じた（Fig.47）。さらに、東古宿分木工周辺（Fig.48）や矢吹北第 8 空気弁周辺（Fig.49）の路面に見られるように、広い範囲で路面の亀裂、埋戻し土の沈下が確認された。

h 久来石工区

管路の敷設長は 2.08km で、FRPM 管、鋼管、ダクタイル管が平野部に敷設されており、一部は市街地を縦走している。曲管部や空気弁周辺に加えて、液状化に伴

う直線部での不陸、許容値を超える抜出しや管の離脱、許容たわみ率を超える変形の被害が生じている。特に本工区では、許容たわみ率を超過して変形している管が、延長で 184m（36 本）あり、他の工区よりも極めて多い。たわみ率を超過した箇所については、Fig.50 に見られるように路面の沈下量が多い所が多い。大池西合流工下流部の辺りでは、約 60cm の沈下が生じている。このような沈下に伴って、管の変形が進んだ可能性がある。また、大池西合流工では、建物周辺での亀裂（Fig.51）、



Fig. 50 バイプライン敷設道路の沈下 (大池西合流工周辺)
Settlement of the road above a pipeline around OikeNishi confluent structures



Fig. 54 谷地第 2 分水工の浮上
Uplift of Tanichi No.2 division work



Fig. 51 路面の亀裂 (大池西合流工周辺)
Cracks besides OikeNishi confluent structures



Fig. 55 久来石第 6 空気弁工周辺での継手の抜出し
Joint excessive extracted around Kyuraiishi No.6 air valve



Fig. 52 構造物周辺の路面沈下 (大池西合流工周辺)
Settlement of the road around OikeNishi confluent structures



Fig. 56 久来石第 7 空気弁工の路面の亀裂
Cracks on the road surface at Kyuraiishi No.7 air valve



Fig. 53 管の離脱 (大池西合流工周辺)
Separation of a pipe around OikeNishi confluent structures

構造物と地面との段差 (Fig.52), 管の離脱が発生していた (Fig.53)。離脱した箇所は曲管の周辺で, FRPM 管と鋼管の継手部である。また, 谷地第 2 分水工は液状化により数 10cm 浮上している (Fig.54)。この周辺でも路面の亀裂などが見られ, 敷設されている FRPM 管には不陸, 許容値を超える継手の抜出し (Fig.55) が広範囲にわたって生じており, 谷地第 1 分水工周辺から鏡石第 1 幹線分水工まで約 875m にわたって敷設替えを行う。また, この敷設替えの範囲内にある久来石第 7 空気弁工では, 地表部のアスファルトに亀裂が見られた (Fig.56)。

Table 3 復旧工法の選定方法
Selection method of restoration work

被害レベル	被災状況	判断基準	復旧工法
3	管破断, 管継手部の離脱	地震により管破断, 管継手部の離脱により地表面の陥没, 亀裂及び漏水等の痕跡があり漏水が生じている	敷設替え
	管体が横断方向にたわむことにより所要の安全度が消失	地震による上部盛土の崩壊などにより過大な荷重が作用し, 管体のたわみ率が規格値 ^{*1} (5%) を超えている	
2	継手部の変状	地震による継手部の変状により, 継手間隔が規格値 ^{*1} を超えている, または曲げ角度が許容曲げ角度 ^{*2} を超えている	敷設替え及び継手補修
	管路の変位により不陸(縦断勾配に凹凸)が生じ, 排泥・排気機能が喪失	地震により管路が変位したことにより, 縦断勾配に凹凸が生じ, 排泥・排気機能が低下もしくは喪失している	敷設替え及び排泥工新設
1	継手部からの漏水	継手間隔が規格値以下で, かつ, 曲げ角度が許容値以下の箇所, 継手部の水圧試験の結果, 漏水がある	継手補修
	継手部の変状 (トンネル内に適用)	地震による継手部の変状により, 継手間隔が規格値を超えているもの, または曲げ角度が許容角度を超えている * トンネル内はトンネル掘削断面と管との空間はモルタルが充填されている	

※ 1 : 土木工事施工管理基準 (農林水産省農村振興局)
※ 2 : JIS A 5350 に示される許容曲げ角度

VI 復旧

これまで述べてきたように, 国営隈戸川地区では, 広範囲にわたりパイプライン及び分水工等の構造物に被害が生じている。被害の内容としては, 管の離脱, 許容値を超える継手部での抜出し, 不陸, 許容たわみ率を超える変形など, いくつかに分類できる。そのため, 本地区では, 被害の内容に応じて, **Table 3** に示すように復旧工法を選定している。なお, 復旧工法は, 敷設替えを行う箇所が最も多くなっており, 2995m に達している (被災状況の内訳は, 不陸による被害 2,204m, 許容値を超える抜出し 536m, 許容たわみ率を超える変形 219m, 管

破断及び離脱 36m)。排泥工の新設は 3 か所で行い, 内面バンドと管更生工法の継手補修は 18 か所で行う。

本地区では, 基礎材料に使用した砂が液状化を生じたため, 再度の液状化被害を防止するために, 復旧にあたっては, 地下水位以下の埋戻し材料に砕石を使用する。なお, 基礎材料に用いていた代表的 (矢吹南工区) な砂 (S-FG) の粒度分布を **Fig.57** に示す。締固め度は 85 ~ 90% が多く, 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「パイプライン」(以下, 設計基準とする) に示されている締固め度と液状化応力比の関係 (**Fig.58**) から判断すると, 液状化抵抗力は 0.2 ~ 0.3 程度であったと

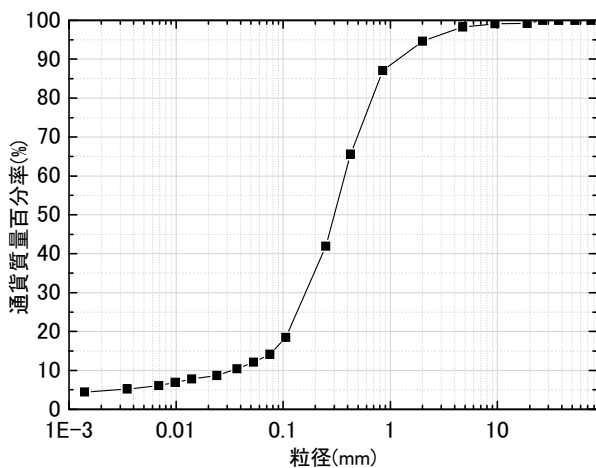


Fig. 57 矢吹南工区における基礎材料の粒径加積曲線
Particle size distribution curves of embedment material at Yabukim-nami subsection

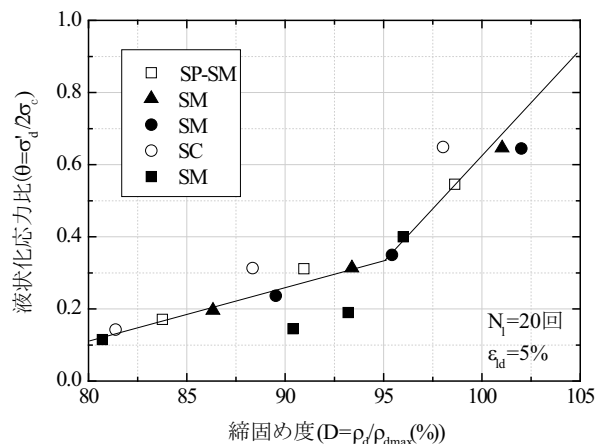


Fig. 58 締固め度と液状化応力比の関係
(出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「パイプライン」)

Relationship between compaction degree and liquefaction

思われる。設計基準によると、締固め度が平均で95%程度（液状化抵抗力で0.4）あればある程度の耐震性が確保される、とされており、本地区の砂の密度は液状化に対して、十分な抵抗力を有していなかったと推察される。また、パイプの基礎材料と同様に、浮上などの被害が生じた空気弁工・分水工・排泥工についても、地下水位以下においては砕石で埋戻すこととしている。

約3kmにわたり敷設替えを行うこととなったが、復旧コストを縮減するために、パイプラインの再利用を実施している。不陸及び許容値を超える抜出しが生じた箇所では、継手のゴム輪は損傷を受けている可能性が高く、再利用はできないが、管本体は損傷が小さく再利用できる可能性が高い。管の再利用を検討するために、被災したパイプ（ ϕ 2200mmの内圧三種管）を掘出して、JIS規格に基づいた外圧試験（Fig.59）及び内圧試験（Fig.60）を実施した。外圧試験の結果は、基準たわみ（5%）時の荷重が82.1kN/m（規格値63.1kN/m）、試験外圧（破壊荷重）は249kN/m（規格値184kN/m）であり、所定の強度を十分に満足していた。また、内圧試験（1.4MPa、3分間保持）においても、漏水などの異常は見られず、規定の性能を有していることが分かった。

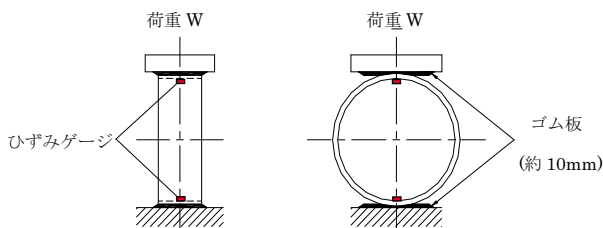


Fig. 59 外圧試験
External pressure test

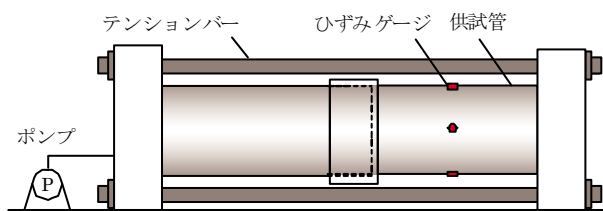


Fig. 60 内圧試験
Internal water pressure test

Ⅶ 結 言

本稿では、東北地方太平洋沖地震で被災した国営隈戸川地区のパイプラインの被災状況について報告した。曲管などの異形管部や構造物周辺に被害が生じただけでなく、基礎材料の液状化により、直線部においても大規模な不陸、許容値を超える抜出し、空気弁工などの構造物の浮上など甚大な被害が発生した。こうした被害は、程度の差はあるが、本地区だけでなく東北地方と関東地方

にある他の地区においても発生している。

今後発生が懸念されている東南海・南海地震などの大規模な地震によって同様の被害を生じさせないため、地震時のウィークポイントとなる異形管部や構造物周辺及び地形・地質の変化点などについては、セメント系安定処理土のような地盤反力係数の高い地盤材料の使用や耐震継手を有する管種などを採用して、高い耐震性を確保したパイプラインシステムを構築することが必要である。また、地下水位が高く、液状化の可能性が高い箇所については、砕石やセメント系安定処理土など液状化しにくい地盤材料を基礎材料として用いることが極めて重要である。

参考文献

- 1) 藤田信夫・毛利栄征・鈴木尚登 (2007) : 地震動に対する継手構造管路の伸縮余裕と安全性, 農業土木学会論文集, 75 (3), 293-303
- 2) 藤田信夫・毛利栄征・岸田隆行 (2007) : 曲線敷設された継手管路の内圧負荷時挙動, 農業土木学会論文集, 75 (2), 157-164
- 3) 金田一広・山崎浩之・永野賢次 (2007) : 地震動の継続時間の違いによる砂地盤の液状化に関する振動台実験, 港湾空港技術研究所資料, 1167
- 4) 増川晋・浅野勇・田頭秀和・掘俊和 (1995) : 兵庫県南部地震による農業用水施設の被害, 農業土木学会誌, 63 (3), 1-5
- 5) 宮島正人 (2008) : 新潟県中越沖地震による被災パイプラインの復旧, 水土の知, 76 (8), 750-751
- 6) 毛利栄征・藤田信夫・河端俊典 (2008) : 埋設管の地震被害と耐震対策, 水土の知, 76 (2), 95-98
- 7) 毛利栄征・河端俊典・Ling Hoe I, SUN Lixun (2000) : 浅埋設パイプラインの土中挙動: ジオグリッドを用いた大口径パイプラインの浅埋設実証試験, 農業土木学会論文集 68 (3), 331-340
- 8) 毛利栄征 (1985) : 1983年日本海中部地震によるパイプラインの被災調査報告, 農業土木試験場技報 CE 造構 (4), 93-147
- 9) 西尾宣明 (1997) : 1983年日本海中部地震における地盤液状化に起因するパイプラインの破壊過程の考察, 土木学会論文集, 556, 53-63
- 10) 社) 農業農村工学会 (2009) : 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
- 11) 田頭秀和・宗岡寿美・辻修・土谷富士夫・矢沢正士 (2005年) : 平成15年(2003年)十勝沖地震の農用施設被害報告, 農業土木学会誌, 73 (9), 811-815
- 12) 豊島弘三・阿久津弘・野呂敏文・石堂隆憲 (1984) : 日本海中部地震によるパイプラインの被災とその復旧, 農業土木学会誌, 52 (6), 491-496

Damage and Restoration of Agricultural Pipeline at Kumadogawa Irrigation Project by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

ARIYOSHI Mitsuru, MOHRI Yoshiyuki, ASANO Isamu and UENO Kazuhiro

Summary

Large diameter pipelines for agriculture in Kumado district, Fukushima prefecture, were damaged by 2011 Tohoku earthquake. Separations of joints around deformed pipes, uplifts of straight pipes and structures, and settlements of backfill materials occurred in the district. The damages were heavy in the plain due to liquefaction of backfill materials. All buried pipelines are 17.8 kilometers and nearly 17% of them were need for reconstruction. When the pipelines are restored, gravels are used as backfill material to prevent liquefaction. And the damaged pipelines are reused due to cost reduction. There are growing concerns about large earthquakes like Tonankai and Nankai earthquakes. Pipelines need to be made more earthquake resistant.

Keywords : 2011 Tohoku earthquake, agricultural pipeline, liquefaction, field investigation, restration

