

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20248026

研究課題名（和文） 環境負荷・耐震性を考慮した薄肉パイプラインの限界状態設計法の確立と検証

研究課題名（英文） Establishment and verification of the limit state design of the thin wall pipeline considering environmental and earthquake resistance

研究代表者

河端 俊典 (KAWABATA TOSHINORI)

神戸大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：20335425

研究成果の概要（和文）：

現行の農業用パイプライン設計基準は、パイプの剛性 EI/D^3 によって計算されており、管厚 t は考慮されていない。しかしながら近年のコスト縮減策などより、さらに管厚が薄くなり、パイプが座屈する可能性がある。当研究では、パイプの管厚がその埋設挙動に与える影響を解明し、設計に際して考慮すべき重要点を明らかにするものである。そのために、1G 場における $\phi 400$ 供試管を用いた中型実験土槽ならびに 30G 場 ($\phi 130$) での遠心力載荷埋設実験、さらにせん断土槽ならびに 800gal 大規模振動台実験 ($\phi 300$) の一連の実験を遂行し、薄肉パイプの動的挙動を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In designing, deflection and stress of the pipe are calculated through structural analysis based on bending ring stiffness EI/D^3 . The pipes with equivalent bending ring stiffness would have the same behavior in design. However, it is easily understandable that the behavior of pipe may be influenced not only by EI/D^3 , but also by the relationships between E and I . In this research, pit tests, centrifuge tests under 30G and large shaking table tests with 800gal input wave for buried flexible pipes were conducted to evaluate the effects of pipe thickness on the static and dynamic behavior. As a result, it was found that the larger bending strain and radial stress of the pipe occurred with the thinner wall. This result suggests that the probability of the buckling of the pipe is higher on thinner pipes. It is evident that the pipelines for irrigation should be designed in consideration of this fact.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2009年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2010年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2011年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
年度			
総計	35,400,000	10,620,000	46,020,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農村計画学

キーワード：土質力学・応用力学

1. 研究開始当初の背景

当研究開始当初の背景は以下の通りである。

- (1) 過去に造築された基幹農業水利施設は膨大な量であるが、特に水路が約 45,000km に達している。これらの資産の多くは更

- 新の時期を迎えているとともに、次世代へ継承していくためには、現存施設の改修(維持管理, 機能保全)が急務である。
- (2) さらに、農業用パイプラインとして石綿管が全国に 6,800km 布設されているが、近年の社会問題であるアスベスト問題として、石綿管の更生が義務づけられている。
 - (3) 一方、地震発生周期説や、最近北陸地方で多発している地震被害、さらに東海・南海地震への注意喚起などを考慮すると、全国的に近年の地震発生確率は極めて高くなってきており、パイプラインなど農業用施設の耐震性向上が急務である。
 - (4) 上記の社会的背景の中で、特に、開水路の改修に際して、用水の効率的管理の容易さから、老朽開水路のパイプライン化が急増しているが、さらに“コスト縮減や環境負荷低減”に関わる管厚の薄肉化、現地発生土の利活用、コンクリート廃材などのリサイクル材料の利用が急増してきている。
 - (5) しかしながら、現行の設計手法では、これらの諸条件に全く対応できておらず、極めて危険な状態に直面している。
 - (6) 現行のパイプラインの構造設計は、“薄肉円環の構造解”により設計されている、ところが、開水路の改修に際して、“コスト縮減”により口径 3500mm、管厚 21mm の超大口径薄肉パイプが採用される事例があり、管体発生ひずみの計測を行ったところ、通常の“たわみ変形モード”から大きく逸脱した変形挙動を示すことが明らかになった。さらに、老朽水路トンネル内の薄肉管が座屈破壊する事例も増加してきている。
 - (7) よって、薄肉埋設管の挙動を解明し、現行の設計手法の問題点を指摘し、改善を図ることが急務であることは言うまでも無い。

2. 研究の目的

1. で述べた研究開始当時の背景を受けて、発生土などを有効利用した環境に配慮した埋戻し材料を対象とし、さらに、耐震性向上を考慮し、限界状態(薄肉・曲げモードを逸脱[座屈]しない)を考慮したパイプラインの設計法の提案を行うために、現実の薄肉管の埋設挙動を明らかにし、応力集中などのメカニズムを解明することが、当課題における主な目的である。

以下により具体的な個別目的を示す。

- (1) 現実に供用されているφ400 鋼管、塩化ビニル管ならびにポリエチレン管を対象とした通常土槽内埋設実験より、管厚が埋設挙動に与える影響について検討する。

- (2) φ400 各供試管から可能な限り薄肉管を製作し、同様の埋設実験を行い、薄肉管の埋設挙動を明らかにする。
- (3) コンクリート基礎などの応力集中が作用しやすい埋設条件下でその挙動を解明する。
- (4) さらに、地盤上からの応力集中・荷重負荷時の各薄肉管の埋設挙動を明らかにする。
- (5) φ130 アルミ管、ナイロン管ならびに低密度ポリエチレン管を用いた遠心力模型実験を行い、大口径薄肉管の埋設挙動を明らかにする。
- (6) 上記と同じφ130 を用いたアルミ棒積層体地盤を用いたせん断実験を行い、せん断を受ける地盤内における、薄肉管の埋設挙動を明らかにする。
- (7) φ300 塩化ビニル管、鋼管ならびに高密度ポリエチレン管を用いた、大規模振動台実験を遂行し、管厚が動的挙動に与える影響について検討する。

3. 研究の方法

2008 年度から 2011 年度までの各期間の研究の方法を以下に示す。

(1) 2008 年度

幅 2000mm 高さ 1300mm 奥行き 1000mm の中型土槽を用いた埋設実験を実施した。供試管は上述のとおりφ400 の鋼管、塩化ビニル管ならびに高密度ポリエチレン管を使用した。なお、当パイプより管厚を薄く加工し剛性調整した供試管を薄肉管として使用した。

また、管内より詳細な変形計測が可能な微小変形計測システムを開発し研究に使用した。なお、実験に使用した地盤は 6・7 混合砂である。

(2) 2009 年度

2008 年度の埋設実験をより進展させ、コンクリート基礎など管体に応力集中が作用する埋設条件ならびに地表面載荷に関して、管直上部より油圧ジャッキによる集中載荷を行い、薄肉管の埋設挙動を明らかにした。なお、地盤は密地盤ならびに緩詰地盤の 2 種類で実施した。

(3) 2010 年度

大口径薄肉パイプの力学挙動を解明するために、φ130 のアルミ管、ナイロン管、低密度ポリエチレン管を対象に、米国コロンビア大学遠心載荷装置を使用して、30G 場における埋設実験を行った。

また、180 度支持条件の埋設実験も実施した。

(4) 2011 年度

薄肉管の動的挙動を解明するために、同上φ130 管を使用したせん断実験を遂行した。実験にはアルミ棒積層体を用いた。

さらに、農村工学研究所所有の大型振動台を用いて、 $\phi 300$ の供試管を対象に、800gal、2Hz 正弦波を入力し、薄肉埋設管の地震時挙動を明らかにする。

4. 研究成果

2008 年度から 2011 年度までの研究成果概略を年度別に以下に示す。

(1) 2008 年度

- ①同一曲げ剛性を有する管厚の異なる供試パイプの製作・検証を行った。製作した供試パイプはパイプ内面からの観察等を考慮して口径 400mm とした。材質は鋼管、塩ビ管、ポリエチレン管の3種類とした。
- ②摺動型の 100mm 精密変位計と回転角度計を連動させ、動的ローガーを組み合わせた微小変形挙動観測システムを構築した。
- ③パイプの変形に対して管厚の違いが与える影響は少ない。
- ④管厚が薄く、弾性係数の高いパイプにおいて、より大きく不均一な軸応力が生じ、座屈が発生する可能性が高い。
- ⑤パイプの剛性が高いほど、地盤内応力集中が生じて、より大きな軸応力が発生する。
- ⑥上記の挙動は、現行の設計では考慮されていない点であり、きわめてパイプラインの安全性に影響のある挙動である。

(2) 2009 年度

- ①本年度の実験条件下では、パイプの曲げ変形に対して管厚の違いが与える影響は見られなかった。
- ②管厚が薄く、弾性係数の高いパイプにおいて、より大きく不均一な軸応力が生じ、座屈が発生する可能性が高いことが明らかになった。
- ③パイプの剛性が周辺地盤に比べて相対的に大きいほど、応力集中が生じてより大きな軸応力が発生することが明らかになった。

(3) 2010 年度

- ①大口径を対象とするため、当初より計画されていたとおり、米国コロンビア大学所有の遠心力載荷装置を用いて、埋設実験を遂行した。
- ②計 9 ケースの遠心力載荷模型実験を行い、管のたわみ量、管頂部周辺土圧、曲げひずみ分布および軸応力分布から、大口径管の埋設挙動について検討した。
- ③アルミ管、ナイロン管では、埋戻し過程において側圧の影響を受けて管は縦長に変形し、土被りが増加するにつれて縦長変形が緩和されるという変形挙動を示した。しかしながら、重力加速度が増加した場合、アルミ管とナイロン管を比

較すると、管厚の薄いアルミ管のほうが縦長変形が顕著である。このことから、大口径管においては管厚の薄い管ほど、埋戻しによる側圧の影響を受けやすいと考えられる。

- ④軸応力分布においては、管厚の薄い管において大きく不均一な軸応力が発生することが確認され、大口径管においてその傾向が顕著であるということが明らかになった。
- ⑤支床上に管を設置したケースでは、支床により管の変形が抑制されることから、管厚の薄い管における軸応力の不均一性が緩和されることが明らかになった。しかしながら、支床と地盤との境界部に大きな圧縮応力が発生していることから、管厚の薄い管においては、周辺地盤剛性の急変する位置に応力集中が生じる傾向にあると考えられる。
- ⑥管底部にアングルを設置したケースにおいては、アルミ管の管底部に大きな軸応力が発生し、大口径になるほど発生する軸応力が卓越することが明らかとなった。一方で、ナイロン管にはアングルによる軸応力への変化は見られなかった。このことから、管厚の薄い管においては地盤内の異物の影響を受けやすく、応力集中を起こしやすいという傾向があることが明らかとなった。

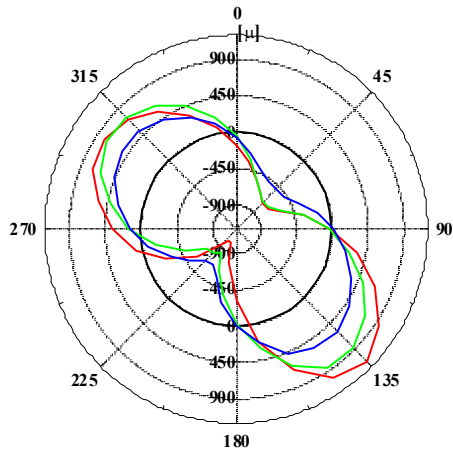
(4) 2011 年度

同一環剛性を有する種々の埋設管に対して、アルミ棒を用いた単純せん断試験ならびに大型振動台実験を実施し、震時変形挙動特性の解明を行った。単純せん断試験機を用いた実験には、 $\phi 130$ のアルミ管ならびにナイロン管を用いた。また、振動台実験には、農村工学研究所所有の 3 次元振動台を使用した。実験土槽は幅 1990 mm×奥行 1500 mm×高さ 970 mm のせん断土槽を使用した。供試管は、鋼管、塩化ビニル管、高密度ポリエチレン管を使用した。入力波は 2Hz 正弦波とし、最大 800gal まで加震した。主な研究成果を以下に示す。

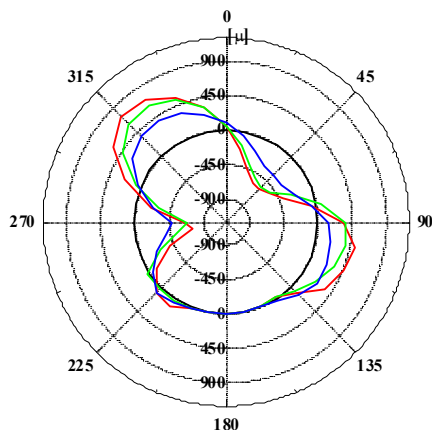
- ①地盤のせん断変形によって管の斜め方向に卓越したひずみが発生することが明らかになった。また、繰返しのせん断によって管は徐々に縦長に変形していくが、その程度には管厚によって違いがある可能性が明らかになった。
- ②斜め方向は、初期のせん断から大きなたわみが発生することから、強地震によって地盤に大きなせん断変形が作用した場合、斜め方向の部分が鉛直水平方向の部分よりも先に破壊する危険性が高いことが明らかになった。
- ③管厚の薄い埋設管の斜め 45° の位置において卓越した曲げひずみおよび軸応

力が作用し、降伏破壊・座屈破壊の危険性が高くなる可能性が明らかになった。

- ④また、コンクリート基礎を用いた際には、管底部付近で変形が抑制されるものの、管側部に応力集中が作用することが明らかになった。



地盤せん断時の曲げひずみ分布
(360度砂基礎)



地盤せん断時の曲げひずみ分布
(コンクリート基礎)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Kawabata,T., Sonoda,Y., Mohri,Y., Ariyoshi,M. and Iwasaki,Y. :ASCE, Dynamic Behavior of Buried Flexible Pipes of Varying Thickness Using the Shaking Table Test, Proceedings of International Conference for Pipeline Engineering, 査読有, ASCE, Miami Beach, FL, USA., 2012.08, CD
- ② Kawabata,T., Sonoda,Y., Iwasaki,Y. and Mohri,Y. : Dynamic behavior for buried

flexible pipe subjected to ground shear deformation, Proceedings of 22nd International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, ISOPE2012, Rhodos, Greece, 2012, CD

- ③ Kawabata,T., Iwasaki,Y., Dodo,H., Ling,H. and Mohri,Y. : Dynamic Behavior of Buried Circular Structures during Earthquake by Discrete Element Method, Proceedings of 21st International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, ISOPE2011, Hawaii, USA, 2011, CD.
- ④ 毛利栄征, 有吉充, 河端俊典, 田中忠次 : 施工過程を考慮した埋設パイプの数値解析, 水土の知, 農業農村工学会誌, 査読有, Vol.79, No.5, 2011
- ⑤ Kawabata,T., Izumi,A., Hanazawa,T., Mohri,Y. , Ling,H.I. and Ariyoshi,M.: Vertical loading tests for buried flexible pipes with equivalent ring stiffness, Proceedings of 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, ISOPE2010, Beijing, China, 2010, CD
- ⑥ Kawabata,T., Nadamoto,Y., Shoda,D., Izumi,A., Shimamoto,C., Inoue,K., Uchida,K., Mohri,Y., and Ariyoshi,M.: Effect of pipe thickness on the behavior of flexible pipes with equivalent bending ring stiffness, Proceedings of 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, ISOPE2009, Osaka, 2009, CD.

[学会発表] (計 20 件)

- ① 百々宏晶, 河端俊典, 内田一徳 : 内部応力に基づく円環断面の力学挙動算定, JGS 47 回地盤工学研究発表会論文集, 2012.07(八戸工大)
- ② 岩崎善之, 河端俊典, 毛利栄征, 有吉充, 甲賀洋輔, 園田悠介, 小野耕平: せん断土槽を用いた同一環剛性を有するたわみ性埋設管の振動台実験に関する一考察, JGS47 回地盤工学研究発表会論文集, 2012.07, (八戸工大)
- ③ 園田悠介, 河端俊典, 岩崎善之, 真木貴也 : 管厚が地盤のせん断変形を受けるたわみ性埋設管の変形挙動に及ぼす影響, JGS47 回地盤工学研究発表会論文集, 2012.07(八戸工大)
- ④ 園田悠介, 河端俊典, 森上浩伸, 中島博文, 浅尾瞳, 小野耕平, 久保京子, 真木貴也 : 不均一な地盤条件における埋設管力学挙動に関する模型実験, JGS47 回地盤工学研究発表会論文集, 2012.07 (八戸工大)
- ⑤ 百々宏晶, 河端俊典, 森上浩伸, 中島博文, 久保京子 : 不均一な地盤条件におけ

る埋設管の力学挙動に関する有限要素法解析, JGS47 回地盤工学研究発表会論文集, 2012.07(八戸工大)

- ⑥ 岩崎善之, 河端俊典, 園田悠介, 甲賀洋輔: 地盤のせん断変形を受けるたわみ性埋設パイプの変形挙動に関する模型実験, 農業農村工学会京都支部第 68 回研究発表会講演要旨集, 2011.11, (奈良)
- ⑦ 岩崎善之, 河端俊典, 園田悠介, 甲賀洋輔: 管剛性が地盤のせん断変形を受ける埋設管の挙動に与える影響, 農業農村工学会京都支部第 68 回研究発表会講演要旨集, 2011.11 (奈良)
- ⑧ 百々宏晶, 河端俊典, 内田一徳: 管厚の変化が薄肉円環の応力挙動に与える影響に関する検討, 農業農村工学会京都支部第68回研究発表会講演要旨集, 2011.11 (奈良)
- ⑨ 百々宏晶, 河端俊典, 内田一徳: Airy の応力関数を用いた埋設管内部応力挙動精査, H23 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 2011.09(九州大)
- ⑩ 岩崎善之, 河端俊典, 園田悠介, 甲賀洋輔: 管口径が地盤のせん断変形を受ける埋設管の挙動に及ぼす影響, H23 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 2011.09(九州大)
- ⑪ 岩崎善之, 河端俊典, 甲賀洋輔, 園田悠介: せん断変形をうけるたわみ性埋設管の変形挙動に関する実験的検討, H23 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 2011.09(九州大)
- ⑫ 岩崎善之, 河端俊典, 甲賀洋輔, 園田悠介: 地盤のせん断変形を受けるたわみ性埋設パイプの変形挙動に関する一考察, 46 回地盤工学研究発表会論文集, 2011.07 (神戸)
- ⑬ 岩崎善之, 河端俊典, 園田悠介, 甲賀洋輔: 地盤のせん断変形を剛性埋設パイプの浮上に関する DEM 解析, 46 回地盤工学研究発表会論文集, 2011.07(神戸)
- ⑭ 百々宏晶, 河端俊典, 内田一徳: 埋設管の挙動予測における薄肉円環の構造解の適用限界に関する一考察, 46 回地盤工学研究発表会論文集, 2011.07 (神戸)
- ⑮ 奥野哲史, 河端俊典, 木本茉那, 柏木歩: 碎石を用いた曲管部スラスト防護工法の水平載荷試験, 農業農村工学会京都支部第 67 回研究発表会講演要旨集, 2010.11 (津)
- ⑯ 泉明良, 花澤貴文, 河端俊典, 毛利栄征, 柳智士, 日野林穰二(2010.08): 同一剛性を有する管厚の異なる低外圧剛性たわみ性パイプの埋設実験, 第 45 回地盤工学研究発表会論文集, 2010.08 (松山)
- ⑰ 泉明良, 河端俊典, 毛利栄征, 嶋本智文: 同一環剛性を有するたわみ性パイプの

埋設挙動の検討, 農業農村工学会京都支部第 66 回研究発表会講演要旨集, 2009.11 (富山)

- ⑱ 河端俊典, 灘本優太, 正田大輔, 泉明良, 嶋本智文, 毛利栄征, 有吉充, 日野林穰二: 地盤剛性が薄肉たわみ性パイプの埋設挙動に与える影響について, 第 44 回地盤工学研究発表会論文集, 2009.08 (横浜)
- ⑲ 河端俊典, 灘本優太, 正田大輔, 泉明良, 嶋本智文, 毛利栄征, 有吉充, 日野林穰二: たわみ性パイプの管厚が埋設挙動に与える影響, H21 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 2009.08(筑波大)
- ⑳ 有吉充, 毛利栄征, 堀俊和, 松島健一, 河端俊典: 薄肉パイプラインの埋設挙動に関する模型実験, H21 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 2009.08(筑波大)

[その他]

ホームページ等

<http://www.research.kobe-u.ac.jp/ans-soilenv/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河端 俊典 (KAWABATA TOSHINORI)
神戸大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 20335425

(2) 研究分担者

内田 一徳 (UCHIDA KAZUNORI)
神戸大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 80111946

井上 一哉 (INOUE KAZUYA)
神戸大学・大学院農学研究科・助教
研究者番号: 00362765

毛利 栄征 (MOHRI YOSHIYUKI)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・領域長
研究者番号: 90373224

有吉 充 (ARIYOSHI MITSURU)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・研究員
研究者番号: 10414442