論文 衝撃弾性波法によるコンクリート下水管路の劣化診断における埋設 条件の影響

舟橋 孝仁*1·鎌田 敏郎*2·浅野 雅則*3·皆木 卓士*4

要旨:本研究では、衝撃弾性波法によるコンクリート製下水管路の劣化診断において想定される埋設条件(土圧)が評価パラメータに与える影響について検討を行った。無載荷のケースと、土圧を段階的に4ステップに変化させた条件で実験を行った。土圧は、鋼板を載荷することにより変化させた。その結果、管に生じたひび割れの種類による評価パラメータの変化傾向は土圧の有無および土圧の大きさに依らずほとんど同じであり、埋設状況が本手法に与える影響は小さいことが明らかとなった。

キーワード:コンクリート下水管路,非破壊検査,衝撃弾性波法,ひび割れ評価,埋設実験

1. はじめに

著者らは、コンクリート製下水管路の劣化診 断手法の構築を目指して、衝撃弾性波法による 基礎的な検討を行ってきた^{1),2)}。その結果、評 価指標として、特にひび割れの評価において、 最大振幅値、波形減衰時間および周波数特性を 用いた評価の可能性を明らかにしている。

これまでの実験では,主に,コンクリート管 を砂層上に設置した条件としており,埋設条件 下での検討は十分に行われていないのが現状で ある。埋設条件下では,コンクリート管が周辺 土圧により拘束を受けるため,その影響程度を 把握することは本手法の適用範囲を明確にする 意味でも極めて重要である。

そこで本研究では,コンクリート管の埋設状 況を再現した実験を行い,埋設深さ(土圧)が ひび割れ評価に及ぼす影響を明らかにすること を目的とした。

検討に際しては,まず埋設前の条件下で評価 指標の変化傾向を把握し,その後,供試体に作 用する土圧を段階的に変化させた条件で実験を 行った。埋設前後のパラメータの特性を比較す るとともに,土圧の違いがひび割れ評価指標に 与える影響についても検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体

本研究では、供試体として、鉄筋コンクリー ト製下水管(長さ 1900mm、内径 250mm、管厚 28mm)を用いた。実験で使用した供試体は、表 -1に示すように、軽い衝撃力を繰り返し与える ことにより人工的に管軸方向にひび割れを導入

	供試体種類	ひび割れ状況
Α	軸ひび割れ	ひび割れ幅:0.04mm 以下~0.85mm,本数:管軸方向に 4~5 本
В	周ひび割れ	ひび割れ幅 : 0.04mm 以下~0.25mm,本数 : 管中央部に 1 本
С	複合ひび割れ	管軸方向⇒ひび割れ幅:0.04mm 以下~0.3mm,本数:4~5 本
		管周方向⇒ひび割れ幅 : 0.04mm 以下~0.9mm,本数 : 2 本
D	健全	ひび割れ無し

表-1 供試体種類

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 正会員

*2 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 助教授 工博 正会員

*3 岐阜大学大学院 工学研究科生産開発システム工学専攻 工修 正会員

*4 積水化学工業(株) 環境・ライフラインカンパニー 開発部 商品開発センター 工修 正会員



図-1 複合ひび割れ供試体のイメージ図

した供試体(表中のA:軸ひび割れ供試体),管 中央部において管周方向に1本のひび割れを導 入した供試体(表中のB:周ひび割れ供試体), 管軸,周の両方向にひび割れを導入した供試体

(図-1および表中のC: 複合ひび割れ供試体) および比較のために用いた健全供試体(表中の D)の合計4種類である。

2.2 弾性波の入力および受振方法

弾性波の入力には、写真-1に示すような、安定した打撃を行うことのできるインパルスハンマを搭載した打撃装置を用いた。弾性波の受振には、加速度計(周波数範囲:0.2~45kHz)を用いた。加速度計は、瞬間接着剤により管内面上部に固定した。加速度計により受振された波形は、アンプを介し高速波形収集システム(AD変換器)によりデジタル信号に変換した後、パソコン上に記録した。

本研究では、受振波形に対 してFFT(高速フーリエ変換) により周波数分布を求める とともに、最大振幅値および 波形エネルギの算定を行っ た。計測におけるサンプリン グタイムは 10 µsec とし、

2500 ポイントのデータを取得した。本研究では, 図-2 に示すように,最大振幅値は,受振波形に おいて振幅の絶対値が最大を示す振幅値であり, 波形エネルギは,波形の全計測長さにおいて, 振幅の絶対値波形と基線とで囲まれた部分の面 積として定義した。そして,これらのパラメー タに対して,健全供試体で得られた最大振幅値 および波形エネルギに対する比として,最大振 幅値比および波形エネルギ比をそれぞれ算出し た。弾性波入力位置および受振位置は,図-3 に 示すように,管内面上部において同一直線上と した。打撃は,下水管内面の端部より軸方向に



写真-1 打撃装置





200mm 内側の点とし,受振位置は,反対側端部 より 200mm 内側の箇所とした。なお,弾性波計

測は、各ケースについて3回ずつ行った。

2.3 埋設条件

供試体は、砂(単位体積重量 17.8 kN/m³,弾性 係数 30MPa,ポアソン比 0.35)を用いて埋設し た。図-3 に示すように、管上部の土被り厚は 300mm とした。さらに、本研究では、実際の埋 設条件を考慮して、土被り厚を 0,0.5,1.0,1.5 および 2.0 (m)の間で変化させ、載荷ステップを 決定した。表-2 に、載荷ステップと載荷荷重お よび直土圧式³⁾によ り算定したみかけの 土圧の関係を示す。実 験では、**写真-2**に示 すように、鋼板(5 kN/ 枚)を順次載荷させる ことにより管に作用

表-2 載荷ステップ 土被り厚 (m) 載荷荷重 (kN) みかけの土圧 (kN/m²) step 0 0 無載荷 0 0.5 8.9 step 1 (鋼板4枚) 20 step 2 1.0 (鋼板 12 枚) 17.8 60 1.5 (鋼板 20 枚) 26.7 step 3 100 step 4 2.0 140 (鋼板28枚) 35.6

する土圧を増加させた。なお、本実験では、供 試体が埋設されていない場合(以降, step 0 とす る)も比較のために用意し、各 step ごとに弾性 波計測を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 健全供試体における埋設前後の比較

図-4 に,健全供試体における step 0, step 1 および step 4 の受振波形を示す。これらの図によ れば、コンクリート管周囲に砂質土が存在する ケース (step 1 および step 4) は、無拘束 (step 0) の場合と比較して、波形の継続時間が短くなっ ていることがわかり、埋設条件下では、波形の 減衰が相対的に大きいことがわかる。また、step 4 は step 1 に比べてさらにその影響が大きくなっ ており、みかけの土圧の大きいものほど波形の 継続時間が短くなっている。このように、コン クリート管が埋設されている場合には、受振波 形は土圧による影響を受けることが確認された。

次に,各 step における最大振幅値比および波 形エネルギ比の変化を図-5 に示す。この図から わかるように,いずれのパラメータも,みかけ の土圧が大きくなるにしたがい徐々に減少する 傾向を示している。このことは,既に示した波 形の傾向と一致するものである。これは,土圧 が大きくなると,その拘束の効果によりコンク リート管が振動しににくくなることが原因とし て考えられる。

一方, step 0 と step 1 の場合における受振波形の周波数分布を図-6 に示す。これによれば, step 0 の場合の周波数分布では、2kHz~4kHz 付近,4kHz~5.5kHz 付近および 6kHz~8kHz 付近に成分が集中する分布形状である。これに対して step



写真-2 鋼板載荷状況



1 では, step 0 のように明確なピークは認められ ないものの, step 0 で成分が集中した領域に, 同 じように成分が分布している。したがって, 埋 設前後の周波数分布のピークの出現状況こそ一 致してはいないが, ほぼ同様の傾向であると考 えることができ, 埋設前後での管体の挙動の違 いは小さいものと考えられる。



図-7に、健全供試体における各 step での周波 数分布を示す。この図から、各 step 間での分布 形状の差はほとんどなく、土圧の違いによる影 響も小さいことが明らかとなった。

以上のように,埋設条件下では,コンクリー ト管は埋設前よりも振動しにくいことが波形お よび波形パラメータから明らかとなったが,周 波数分布における傾向は一致しており,さらに この傾向は,土圧の大きさによらず同じであっ た。

3.2 埋設状況下におけるひび割れ評価

(1) 最大振幅值比

図-8 に, step 0, step 1 および step 4 における 各供試体の最大振幅値比をそれぞれ示す。これ によると,まず, step 0 においては,全てのひび 割れ供試体において, 健全供試体と比較して, 最大振幅値比が減少していることがわかる。こ れは、ひび割れを有する供試体では、打撃によ り入力されたエネルギが、ひび割れ部において 大きく消散するため受振エネルギが健全供試体 よりも減少し,結果として受振波形の最大振幅 値比が小さくなるためと考えられる。一方, step 1と step 4 も同様の傾向を示している。また, step 1において,健全供試体に対する最大振幅値比の 減少率は、軸、周および複合ひび割れ供試体の 順に、65%、51%および88%であり、step4にお いては、74%、54%および85%であった。いず れのひび割れ供試体においても,最大振幅値比 の減少率に差はあるものの, step 1 および step 4



を比較した場合、土圧の増加における最大振幅 値比の減少率の差はほとんどみられないことが 確認できる。さらに、いずれのステップにおい ても, 複合ひび割れ供試体の最大振幅値比は, 軸ひび割れおよび周ひび割れ供試体と比較して, さらに小さい値を示している。これは、最大振 幅値は、管軸および周方向のいずれのひび割れ においても影響を受けるパラメータ²⁾であるこ とから、両者の相乗的な効果によるものと考え られる。したがって,受振波形の最大振幅値は,

管を埋設した場合におい ても,管を埋設する前(step 0) と同様, 管に存在する ひび割れに対して高い感 度を有するパラメータで あることが明らかとなっ た。このことから, 管を埋 設した場合においても,最 大振幅値を用いたコンク リート管のひび割れ評価 は十分可能であると考え られる。また、土圧が増加 した場合においても,土圧 の違いが最大振幅値の減 少率に与える影響は小さ いことが明らかとなった。

(2) 波形エネルギ

図−9 に, step 0, step 1 および step 4 における各供 試体について得られた波 形エネルギ比をそれぞれ 示す。これによると, step 0 において,管にひび割れが 存在する場合,健全供試体 と比較して,波形エネルギ



であった。これに対して step 4 では, 62%, 38% および 63% であり, いずれの供試体においても, 土圧の違いによる影響は小さい。これらの傾向 は、最大振幅値比での結果とほぼ一致しており、 波形エネルギもコンクリート管のひび割れ評価



健全

step 0

🛆 step 1

step 4

複合ひび割れ

Δ

周ひび割れ

軸ひび割れ

図-9 波形エネルギ比

1

0.8

궈

0

指標として適用可能であることがわかった。また、管を埋設した場合においても、このパラメ ータを用いて、管に存在するひび割れを評価す ることができると考えられる。

(3) 周波数分布

図-10に、step 0、step 1 および step 4 におけ る各供試体の周波数分布をそれぞれ示す。これ によると、step 0 において、軸および複合ひび割 れ供試体では、健全供試体と比較して、2kHz 付 近の領域における周波数成分の割合が増加する とともに、5kHz 付近の領域の成分が減少する傾 向が確認できる。また、周ひび割れ供試体にお いては、軸ひび割れの場合のように明確に 2kHz 付近の成分が卓越した分布形状ではないものの、 5kHz 付近の成分に比べて大きな成分を有してい るという傾向は一致している。このように軸ひ び割れ供試体の方が周波数分布の変化は大きい。 これは、軸ひび割れの存在が管断面の振動挙動 に与える影響が大きいためであると考えられる。

一方, 埋設後 (step 1 および step 4) の周波数 分布は、いずれの供試体においても、3.1で示し たように、埋設前(step 0)の周波数分布と比較 して,成分が同じ領域に分布していることがわ かる。step1においては、軸および複合ひび割れ が存在する場合,健全供試体と比較して,2kHz 付近の周波数成分が増加しており、さらに高周 波領域の成分が減少していることがわかる。特 に、複合ひび割れ供試体では、3kHz 以上の成分 はほとんどみられない。また,周ひび割れ供試 体でも、健全供試体と比較した場合、2~4kHz における成分の増加が確認できる。また, step 4 においても step 1 と同様の傾向を示しており, 土 圧の違いがひび割れ評価に与える影響は小さい と考えられる。このことから、埋設状況下にお いても、埋設前と同様に周波数分布を用いたひ び割れ評価が可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、コンクリート管を砂中へ埋設し、 鋼板載荷により想定土被り厚を 2m 程度として 弾性波計測を行い、埋設条件がひび割れ評価に 与える影響を検討した。その結果を以下にまと める。

- (1)管を埋設した場合、受振波形は、周囲の拘束の影響を受け、最大振幅値および波形エネルギは、土圧の増加により減少する傾向を示すことがわかった。また、周波数分布には、土圧の有無および土圧の変化による影響はほとんどみられなかった。
- (2) 最大振幅値および波形エネルギは、管を埋設した場合においても、管軸および管周方向に存在するひび割れの有無を相対的に評価するのに有効である。また、いずれのパラメータにおいても、ひび割れ評価において土圧の影響は小さいことがわかった。
- (3) 周波数分布は、ひび割れ評価において、土圧 の有無および土圧の増加による影響を受け にくく、管に存在するひび割れの有無を評価 するのに有効なパラメータであることが明 らかになった。

謝辞 本研究の遂行にあたり,有益なご助言を 頂いた杉山建設の浅野幸男氏,ならびに実験の 実施等に多大なるご協力を頂いた岐阜大学学部 生の中村隆志君に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 皆木卓士,鎌田敏郎,野崎善治,舟橋孝仁: 弾性波によるコンクリート下水管路の劣化 診断手法に関する基礎研究,コンクリート工 学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1539-1544, 2002
- 2) 舟橋孝仁,鎌田敏郎,皆木卓士,浅野雅則: コンクリート下水管路の劣化診断における 衝撃弾性波法の適用,コンクリート工学年次 論文集, Vol.25, No.1, pp.1625-1630, 2003
- 3) 地盤工学会:地盤工学ハンドブック, p.944, 1999