

超音波によるコンクリート腐食の測定に関する研究

日大生産工 ○保坂成司

日大生産工 大木宜章

日大生産工 河合紘茲

1. はじめに

日本の下水道は都市の健全な発達及び公衆衛生の向上に寄与し、あわせて公共用水域の水質保全に資することを目的に急速に整備が行われ、平成 18 年度末の全国平均普及率は 70.5%まで向上した。一方、東京都区部や政令指定都市などの大都市に至っては古くから下水道建設が行われ、さらに高度経済成長期には整備が加速、現在では 98.4%（平成 18 年度末）とほぼ整備が完了している。

下水道は上水道やガスパイプなどのライフラインと異なり自然流下方式を採用しているため地中深く敷設されることが多く再構築などが容易ではない。このため下水道の材料としては長期にわたり耐久性が期待できるコンクリートが多用されているが、そのコンクリートの標準耐用年数も 50 年である。

しかし近年では耐用年数に満たない下水道管渠において早期老朽化が報告されている。

早期老朽化の原因は交通量増加などの影響による損傷と、下水中に含まれる成分による腐食や微生物による腐食に分けられる。

なかでも微生物による腐食は全ての下水道管において発生する危険性があり、しかも内部進行型で持続的に腐食が進行するため、下水道施設に最も深刻なダメージを与えると考えられる。

このように内部進行型の腐食が生じたコンクリートの内部状態を調査するにはコアを採取し調査するなどの方法が一般的であるが、この方法では構造体の一部を抜き取るため構造体へのダメージが懸

念される。

そこで本研究は、構造体に影響を与えない非破壊試験法の一つである超音波法を用い、コンクリートの内部評価に関して研究を行うことにした。

2. 超音波を用いた測定法

超音波を用いたコンクリート内部評価に関する既往の研究には、コンクリート中を伝播する音速からコンクリートの強度を推定する方法、伝播時間からひび割れ深さなどを推定する方法、反射エコーからコンクリートの内部状態を推定する方法など種々ある。

これらの手法に以外に最近では伝播波の周波数特性、最大振幅値、エネルギーなどのパラメータを用いた各種評価方法が提案され、中でも伝播波の周波数スペクトルから材料特性を評価する超音波スペクトロスコピー法が注目されている。本研究においても、この超音波スペクトロスコピー法により、腐食などでコンクリート表面など部分的に強度低下した箇所を推定することが可能と考え、本方法により実験を行うこととした。

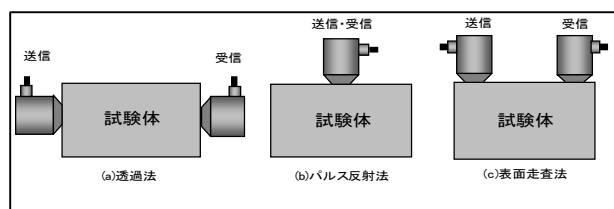
また測定法には、透過法、パルス反射法、表面走査法がある（図—1）。透過法〔図—1（a）〕は送信用・受信用の各トランスデューサーで測定物を挟み測定する方法であり、パルス反射法〔図—1（b）〕は一つのトランスデューサーで送信と受信を行い測定する方法であり、表面走査法〔図—1（c）〕は試験体に送信・受信の各トランスデューサーを設置し測定する方法である。

本研究では供用中の下水道管への適用

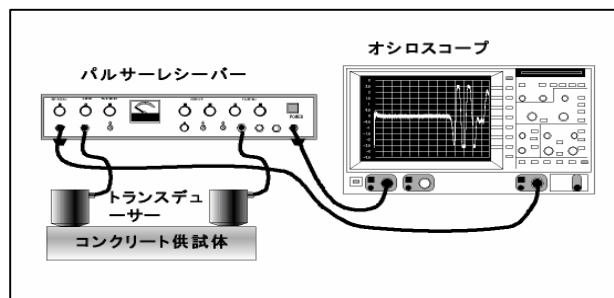
An Experimental Study on Corrosion Layer on Concrete Surface at the Sewer Pipe.

—Based on Ultrasonic Methodology—

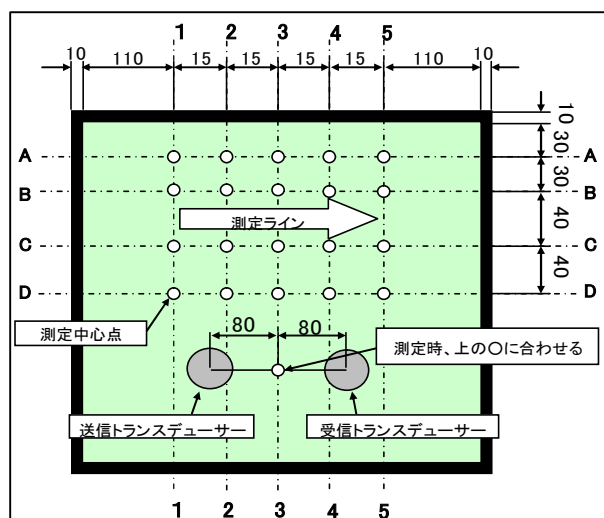
Seiji HOSAKA ,Takaaki OHOKI and Tadashi KAWAI



図ー１ 測定方法の例



図ー２ 測定装置図



図ー３ 平面図および測定方法と測定点

を最終目的としていることから試験体片面で測定が可能な表面走査法を用いることとした。

3. 実験方法

3-1 実験概要

これまでの実験で使用した試験体は $300 \times 100 \times 50\text{mm}$ (縦×横×高さ) のものであり横方向の幅が狭く側面での超音波の反射とおもわれる伝播波により、測定結果にバラツキがあり、解析が困難であった。

よって今回の研究に於いては試験体を $300 \times 300 \times 50\text{mm}$ に変更し、表面走査法を用い試験体端部における超音波の反射

の影響について検討を行った。

3-2 実験装置および方法

【実験装置】

図ー２に本研究で用いた装置図を示す。実験に用いたパルサーレシーバーはスクエア波を発生する装置であり、送受信のトランスデューサーは周波数 100kHz を用いた。

一般的に超音波は密度の低い物質に対しては低い周波数のものが有利とされる。本実験ではコンクリートおよび石膏といった密度の低い物質を研究対象としていること、さらに予備実験においても低い周波数のトランスデューサーを用いた方が結果の再現性が高いことから 100kHz を用いることとした。

なお、伝播波形の表示と周波数スペクトルの解析にはデジタルオシロスコープを用いた。

【試験体】

微生物腐食を受けたコンクリートのX線回折結果より腐食部分の主成分は石膏であったことから、図ー３に示す様に $300 \times 300 \times 50\text{mm}$ のコンクリート平板の表面のふちに 10mm 幅の型枠を設け $280 \times 280\text{mm}$ の大きさにそれぞれ $5, 10, 15, 20\text{mm}$ の厚さに石膏を劣化層と見立てて塗り試験体を作成した。また、健全なコンクリートとして石膏を塗らない試験体を加えた。

【測定条件】

本実験においては供用中の下水道管内における測定を考慮し試験体を水中に静置した状態で測定を行うこととした。

送受信トランスデューサー間隔はこれまでの実験結果より最適測定間隔と考えられる 160mm で行った。また、音速は温度により変化するため、測定および試験体の保管は室温を常時 25°C に保った実験室で行い、測定で使用する水はあらかじめ前日に同実験室内の水槽に張った水を使用した。

なお、通常の気中における測定ではトランスデューサーと試験体を密着させるためにグリセリンなどのカップラントが

必要となるが、本実験は水中で行っており水がカップラントの役割を果たすためグリセリンなどは不要である。

【測定方法】

測定箇所は表面走査法を用い、試験体の測定点は図—3 に示した縦方向 5 行、横方向 4 列の計 20 点とした。

測定は図中に示した縦軸と横軸の交点（○印）にトランスデューサー間の中心を重ね行うこととした。

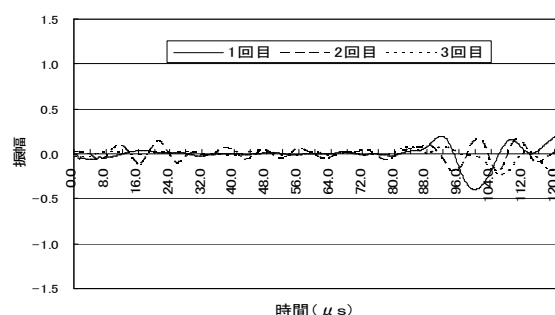
4. 試験体内部反射波による影響の検討

過去の実験で使用した $300 \times 100 \times 50\text{mm}$ のサイズの試験体で測定を行った伝播波形を図—4 に示す。グラフより同一の試験体において測定毎に異なる結果を示し、再現性のある結果を得る事は容易ではなかった。これは試験体の幅が小さいため試験体側面で反射した超音波の影響を受けたためであると考えられる。

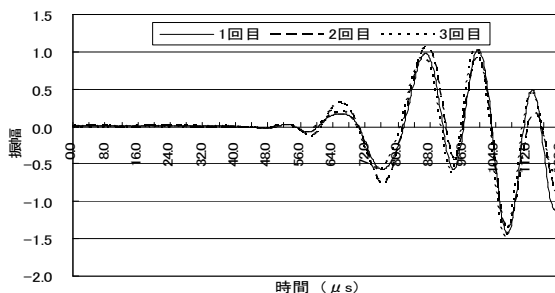
図—5 に $300 \times 300 \times 50\text{mm}$ を用いた時の伝播波形を示す。測定毎の波形は安定しており再現性のある結果となった。

このことより試験体の幅が狭い場合においては、試験体側面からの反射波の影響を受け測定結果にバラツキが生じ解析が困難となることが裏付けされた。

一方サイズの大きい試験体においては



図—4 旧試験体の伝播波形



図—5 新たな試験体の伝播波形

中央部と端部で伝播波形に違いが見られたことから中央部と端部における反射波の影響を調べるべく実験を行った。

5. 伝播速度の測定結果に関する検討

各測定点における測定は 10 回行い、伝播速度の平均値を算出した。図—6 から図—10 に測定ライン毎の平均伝播速度の結果について示す。

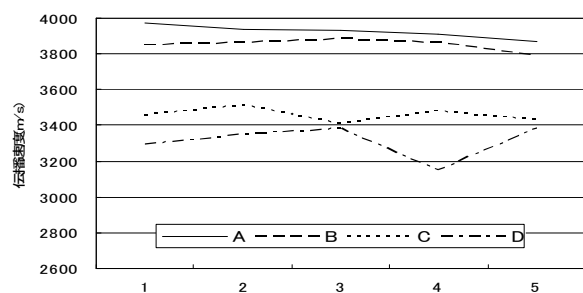
図—6 は石膏のない健全なコンクリートの結果であり、グラフより測定ラインが端部（測定ライン A）と中央部（測定ライン D）で伝播速度に違いが認められる。

図—7 は石膏 5mm の試験体の結果であり、グラフより測定ラインが端部（測定ライン A）から中央部（測定ライン D）に移動しても伝播速度に大きな違いは認められない。同様に石膏厚が 10mm（図—8）、15mm（図—9）、20mm（図—10）においても測定ラインの違いにより伝播速度に差は認められなかった。

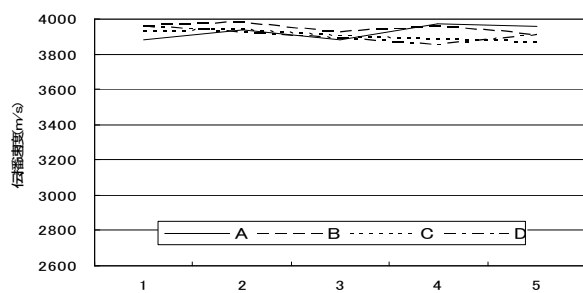
しかし、石膏厚の違いにより伝播速度に違いが見られたことから、石膏が塗られている試験体の平均伝播速度を求めた結果、5mm で 3950m/s 、10mm で 3550m/s 、15mm で 3150m/s 、20mm で 2900m/s となった。この結果をグラフにしたものが図—11 であり、石膏厚 15mm の試験体までは直線的に減衰しているが、石膏厚 20mm では若干直線からずれていることが確認できる。

ここで過去の実験よりコンクリートの伝播速度は $3500 \sim 4000\text{m/s}$ 、石膏の伝播速度は $2000 \sim 2500\text{m/s}$ であることが確認されている。また試験体表面に伝わる横波および表面波の伝播速度は縦波の 2 分の 1 程度であるといわれている。

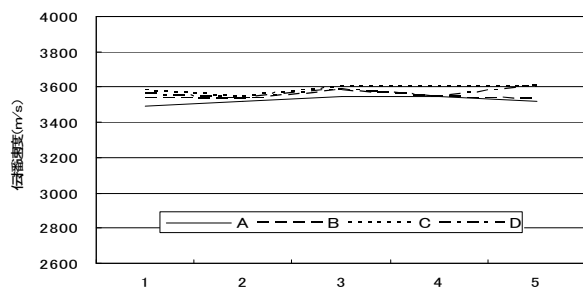
これらのことを踏まえ考察を行うと本実験結果における伝播速度はコンクリートおよび石膏を伝播した横波や表面波とは考えにくく縦波である可能性が高い。すなわち、コンクリートのみの試験体は均一な材質であるため超音波が内部反射を繰り返しやすい。しかし、石膏を塗っ



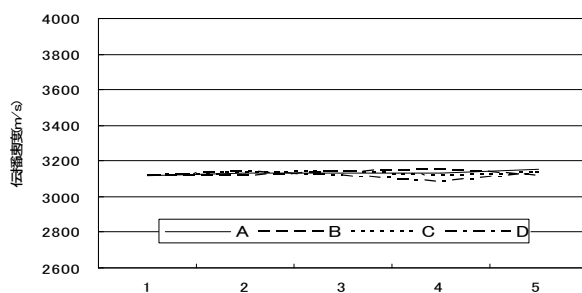
図一 6 石膏 0mm の速度変化



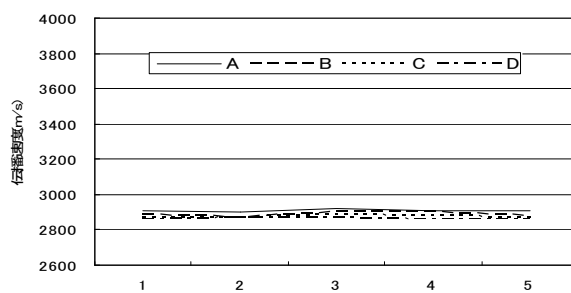
図一 7 石膏 5mm の速度変化



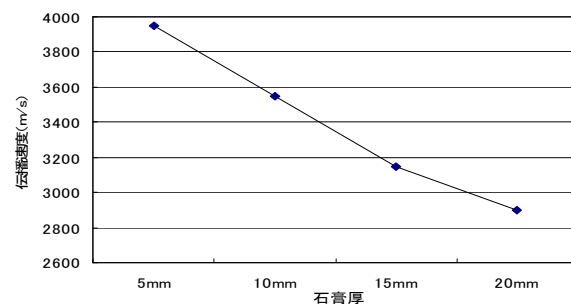
図一 8 石膏 10mm の速度変化



図一 9 石膏 15mm の速度変化



図一 10 石膏 20mm の速度変化



図一 11 石膏厚と伝播速度の変化

た試験体では石膏がフィルターとなり伝播速度を低下させ、さらにエネルギーの大きい波のみがコンクリート内部を伝わり受信されたと考えられる。

なお、石膏厚 20mm における伝播速度の低下が他の試験体に比べ若干小さかったことは試験体作成時の誤差なども考えられるものの、今後の研究課題である。

6. まとめ

本研究は超音波スペクトロスコピー法に着目し実験を行っているが、試験体の内部での超音波の反射の影響が考えられたため、この影響について検討を行った結果、

- ①健全なコンクリート試験体の場合、超音波の反射と見られる影響により、端部に近づくにつれ伝播速度が上昇した。
- ②石膏がコンクリート表面に存在する場

合、石膏がフィルターとなりコンクリートへ伝播する超音波の速度低下を引き起こすと考えられる。さらに受信時にも石膏のフィルターの効果により、コンクリート中を伝播した超音波のうち最も強い波のみが受信されると考えられる。

③本実験では石膏厚 20mm までの試験体を使用して測定を行ったが、石膏 20mm では 15mm までに比べ若干伝播速度の減衰が少なくなった。試験体製作時の石膏厚の誤差とも考えられるが、石膏が厚くなると超音波の減衰が大きくなり下層のコンクリートまで伝播しないことも考えられる。

本研究においては石膏厚 20mm 以上の試験体を用いなかったため、今後石膏をさらに厚くした場合の検討も行う必要がある。また伝播波の周波数特性についても研究を進めていく予定である。