コンクリートの含水状態が超音波伝播速度に及ぼす影響

九州大学大学院　学生会員　土居 優子　九州大学大学院　フェロー　松下 博通
九州大学大学院　正会員　山本 大介

1.はじめに

近年，都市部における下水道施設の老朽化が進み，その建設材料の主体であるコンクリートが予定供用期間よりも極端に短期間で劣化する事例が報告されている。現在下水管の腐食点検は主として TV カメラを用いた管内視覚調査やシュミットハンマーによる調査である。しかし従来の調査手法では劣化状況を正確に把握することが困難であり，新しい点検技術の確立が課題となっている。本研究は，埋設された鉄筋コンクリート製下水管に関し，非破壊検査である超音波診断法に着目し，これによる腐食点検手法を考案することを目的とする。今回は，その基礎的研究として，コンクリートの含水状態が超音波伝播速度に及ぼす影響に関して検討を行った。

表 1 実験 1 の示方配合

f'c (N/mm^2)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) W	C	FA	S	G1	G2	混和剤	備考
10	50	-	251	101	402	1509	-	-	-	モルタル，s/c=3，R=80%
30	49	44	170	346	-	816	465	697	1.072	AE減水剤，C1kgに対し2.5ml
50	33			508	-	758	432	648	2.792	高性能AE減水剤，添加率0.55%
70	25			669	-	699	399	598	16.067	高性能AE減水剤，添加率2.40%

2.実験概要

実験 1　供試体は，φ10×20cm の円柱モルタルおよびコンクリートとし，NPC(密度 3.16g/cm³)，海砂(2.56g/cm³)，FA(2.32g/cm³)を使用し，設計強度を変化させ，**表 1** に示す配合で作製した。蒸気養生(2 時間で 70℃まで上昇，4 時間 70℃，2 時間で常温まで降下)を行った後脱型し，所定の材齢(1, 3, 7, 14 日)まで気中(20℃, 60%)または湿空(20℃，95%以上)で保管し，圧縮強度および超音波伝播速度を測定した。

表 2 実験 2 の示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) W	C	S	G1	G2	AE剤	AE減水剤
40	44	170	425	736	629	420	1.328	0.850
55	47	170	309	837	626	417	0.966	0.618

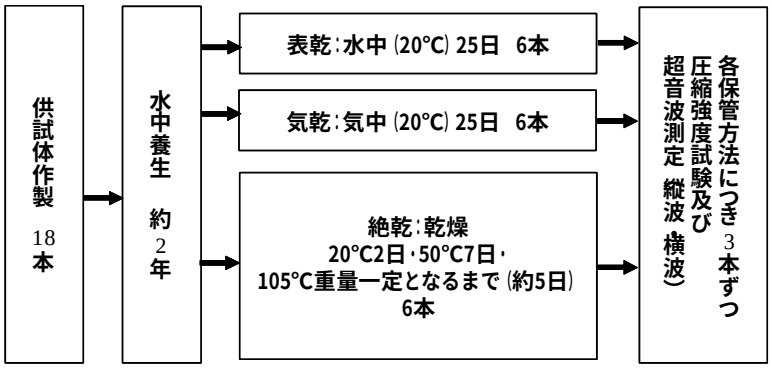

図 1 実験 2 の試験の流れ

実験 2　供試体は，NPC(3.16g/cm³)，海砂(2.57g/cm³)を使用し，**表 2** に示す配合で作製したφ7.5×15cm の円柱コンクリート供試体とした。脱型後，約 2 年間水中養生を行い，水中，気中，乾燥炉中に保管し，含水状態(表乾，気乾，絶乾)を変化させ，各々圧縮強度および超音波伝播速度を測定した。試験の流れを**図 1** に示す。超音波伝播速度に関しては，横波(50kHz)，および縦波(50，100kHz)を使用した。

3.実験結果および考察

実験 1　圧縮強度と超音波伝播速度の測定値を**表 2** に，およびその関係を**図 2** に示す(凡例は保管方法，超音波の種類，周波数の順である)。これによれば，圧縮強度が大きくなるにつれて超音波伝播速度は大きくなり，また湿空状況で保管した方が気中の場合よりも若干超音波伝播速度が大きい。一方，周波数による超音波伝播速度の測定結果に差異はあまり見られない。しかし，初期材齢においては水和反応が収束していないため，この測定結果には含水の影響および水和による内部構造の変化の影響も含まれる。そのため実験 2 の結果により，含水状況の影響を考察する。

実験 2　含水率と超音波伝播速度の関係を**図 3** に示す。横波による測定では表乾および気乾状態では明確な差異が認められないが，絶乾状態では若干小さな値となっている。一方，縦波では含水率が大きくなるにつれ超音波伝播速度も大きくなるという相違が見られる。

横波による超音波伝播速度が，絶乾状態で小さな値となった原因として，乾燥炉で乾燥させた際に供試体内部に微細なひび割れが発生したことが考えられる。内部にひび割れが存在する場合，超音波はひび割れを迂回して進行するため，見かけ上時間が余分にかかり，超音波伝播速度は低下したものと推測される。このため，表乾，気乾状態のみに着目すれば，横波による測定値は変化しないといえる。

横波は媒質のせん断作用により伝播する波であるため固体中しか伝播せず，縦波は媒質の圧縮・膨張により伝播する波であるため，固体・液体・気体中を伝播する [1]。このため，縦波の伝播速度はコンクリートの含水状態に左右されるが，横波は含水状態の影響を受けずに伝播すると考えられる。

表 2 圧縮強度と超音波伝播速度の測定値

	圧縮強度	超音波伝播速度(m/s)			圧縮強度	超音波伝播速度(m/s)		
	N/mm^2	縦100kHz	横50kHz	縦50kHz	N/mm^2	縦100kHz	横50kHz	縦50kHz
材齢	10N/mm^2 気中				10N/mm^2 湿空			
1	1.8	1421	-	-	1.8	1906	-	-
3	2.9	2171	-	2093	2.5	2137	824	2160
7	5.0	2371	1390	2338	3.8	2432	1363	2349
14	6.0	2603	1461	2518	4.4	2673	1555	2617
材齢	30N/mm^2 気中				30N/mm^2 湿空			
1	20.8	4167	-	-	20.8	4199	-	-
3	24.9	4090	-	-	22.7	4270	-	-
7	29.7	4301	1963	3885	26.0	4470	1783	3975
14	31.1	4375	2074	3888	29.6	4490	1980	3972
材齢	50N/mm^2 気中				50N/mm^2 湿空			
1	39.3	4473	-	-	39.3	4458	-	-
3	46.0	4491	-	-	41.5	4573	-	-
7	47.1	4660	2175	4178	41.8	4740	2141	4142
14	53.2	4576	2320	4187	47.5	4744	2198	4217
材齢	70N/mm^2 気中				70N/mm^2 湿空			
1	48.7	4478	-	-	48.7	4412	-	-
3	50.6	4620	2354	4232	48.2	4618	2301	4163
7	63.8	4762	2491	4265	59.7	4646	2382	4229
14	62.9	4784	2538	4331	49.9	4788	2419	4301

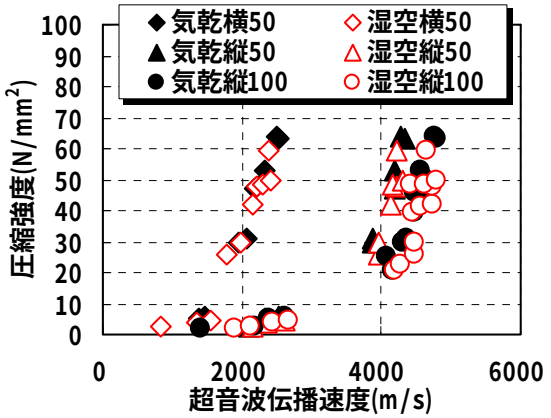

図 2 圧縮強度と超音波伝播速度の関係

4.今後の展開

気中での乾燥など自然な暴露環境である場合には，横波による測定結果は含水状態の影響を受けないといえる。しかし横波を使用した測定の場合，探触子と円管を密着させるために用いるカップリング剤に関して，繰り返し使用可能回数が少ないことや塗布の困難などの問題がある。そのため，今後縦波と横波を併用しての超音波伝播速度の測定が検討される。具体的には**図 4** に示すように，縦波による測定結果に対し，横波を使用して得られた測定結果による補正を行い，含水状態の影響を排除した超音波伝播速度の結果を得るという方法が考えられる。

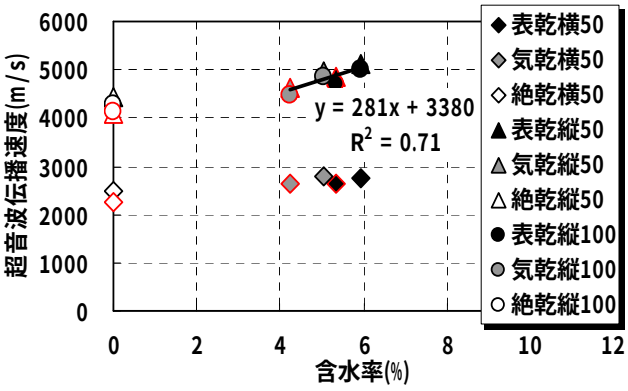

図 3 含水率と超音波伝播速度の関

5.まとめ

1)圧縮強度が大きくなるほど超音波伝播速度は大きい。

2)縦波を使用した超音波伝播速度の測定結果は，含水率が大きくなるにつれ超音波伝播速度も大きくなり，含水状況の影響が見られるが，横波を使用した超音波伝播速度に関しては，その影響は見られない。

3)今後，縦波と横波を併用することにより，含水状態の影響を排除した診断の可能性が示唆された。

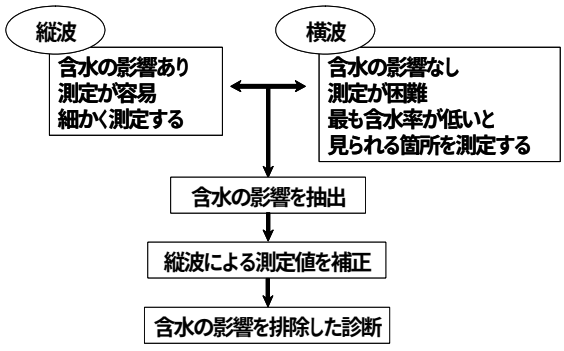

図 4 縦波と横波の併用による診断

参考文献 1)物理探査学会，物理探査ハンドブック，pp.18-19，1998