



人為的な空隙は、上鋼板のコンクリート接触面にあらかじめ所定の厚みの鋼板を設置した状態でコンクリートを打設し、硬化後に鋼板を取り外して所定の空隙となるように作製した。鋼板の取り外しを容易にするため、コンクリート接触面にははく離剤を塗布している。また、コンクリートの収縮等による空隙の変化を取り除く目的に、すべての供試体のコンクリート打設は、供試体を立てた状態で行った。

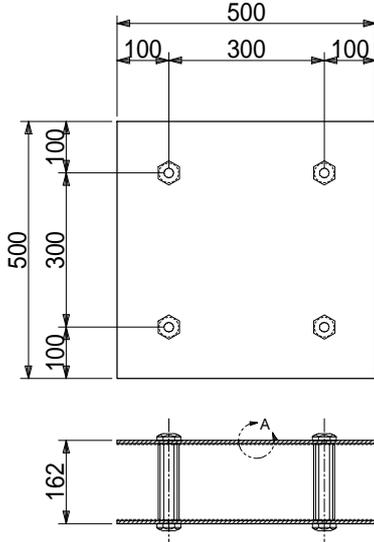


図-2 供試体の形状寸法 (mm)

(2) 実験方法

空隙量の相違によって、一定の衝撃を与えた場合の上鋼板の挙動に差異を生じるかどうかについて2種類の実験を実施した。実験1では、打撃により生じる音波をマイクロホンで採取し、実験2では、上鋼板に取り付けた加速度計の波形を採取した。

上鋼板に与える打撃方法としては、直径25mm、質量65gの鋼球を所定の高さから落下させる方法(以降、鋼球落下)、シュミットハンマによる方法、木づちによる方法、金づちによる方法の4種類について行った。ここで、鋼球落下における落下高さは、100cm、50cm、30cmの3水準とした。打撃位置は供試体中央部であり、打撃位置近傍にマイクロホンおよび加速度計を設置し、各ケースについて3回の計測を行い、データを採取した。

4.1.2 実験結果および考察

(1) 空隙量の相違

空隙量の相違が音波波形に及ぼす影響について、木づちの場合に得られた音波波形(図-3)の結果から考察する。空隙量の差異が音波波形に及ぼす影響について、振幅、振動継続時間に注目して検討を行った結果、以下のような知見が得られた。

空隙量が多い場合には、振幅が両側に均等に分布するのに対して、小さい場合には、均等に分布しない傾向にある。

空隙が多い場合には、振動継続時間が長い。

空隙が小さい場合には、鋼球のリバウンドによると思われる波形が検出される。

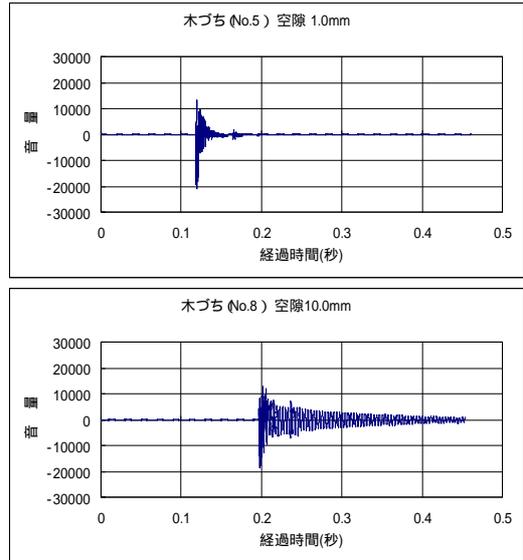


図-3 空隙量の相違が音波波形に及ぼす影響

以上のような差異が生じた要因として、空隙が小さい場合には鋼板の振動が抑制されること、ある値以上の空隙がある場合、定常的な波形に移行することに起因しているものと推察される。したがって、本実験で得られた波形を基準として、空洞の有無および空隙量について判別できる可能性はあるものの、現地においては実験と異なりボルトに囲まれた300mm四方の範囲で空隙が一律でなく大きさも様々である。また、場合によっては空洞内の水分も考慮する必要がある。よって、空隙量の測定には多くの問題解決が必要であり、現状では不可能である。

しかし、健全部と空隙部の音波波形については明らかに違うため、空隙のおおよその違いは耳で容易に判別でき、空隙分布の把握には十分利用できると考える。

4.2 変位測定法(空隙上の鋼板に発生する曲げ変位より空隙厚を推定する方法)

4.2.1 実験概要

(1) 供試体

供試体は、図-4に示す形状寸法を有するものである。空隙量は、表-2に示すように $t = 1.0, 3.0, 6.0$ mmの3水準設定した。空隙の作製要領およびコンクリートの打設方法については、打音法に用いた供試体と同様である。

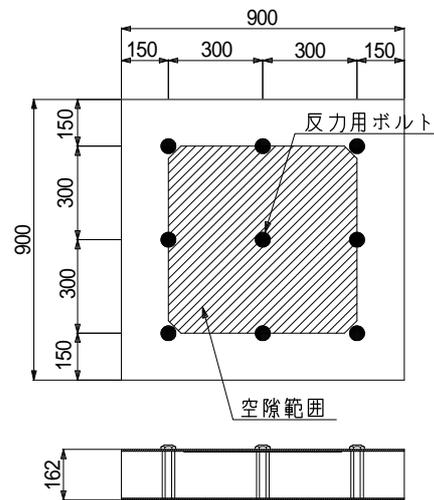


図-4 供試体の形状寸法 (mm)

表 - 2 供試体の一覧

供試体番号	設定空隙厚 (mm)	備考
No.1	1.0	空隙量一律
No.2	3.0	"
No.3	6.0	"

(2) 実験方法

変位量による空隙測定とは、鋼板を押さえつけた時の変位量から空隙量を推測しようとするものである。具体的には、供試体の中心に位置するボルトの高力高ナットで反力を取り、既製品のセンターホールジャッキと3脚のラムチェアを用い、ボルト周辺の鋼板に加力し、変位計にて変位量を測定することとした。変位量の測定に関しては、変位が増加しなくなった時点を鋼板がコンクリート上面と接触したと判断し試験を終了することとした。加力状況を写真 - 1 に示す。



写真 - 1 実験状況

(2) 実験結果および考察

空隙量 1.0、3.0、6.0mm に対する変位量測定結果を表 - 3 に荷重と変位量の関係を図 - 5 に示す。

表 - 3 測定結果

供試体番号	空隙量	測点 No.	変位量 (mm)
No.1	1.0mm	1	0.6
		2	0.7
		3	0.6
No.2	3.0mm	1	2.4
		2	2.8
		3	2.9
No.3	6.0mm	1	4.4
		2	4.6
		3	4.7

変位量の測定について、No. 1 供試体は空隙量  $t=1.0\text{mm}$  に対し、測定誤差の範囲は  $-0.3\text{mm} \sim -0.4\text{mm}$ 、測定誤差の平均値  $0.37\text{mm}$ 、No. 2 供試体は空隙量  $t=3.0\text{mm}$  に対し、測定誤差の範囲は  $-0.1\text{mm} \sim -0.6\text{mm}$ 、測定誤差の平均値  $0.30\text{mm}$ 、No.3 供試体は空隙量  $t=6.0\text{mm}$  に対し、測定誤差の範囲は  $-1.6\text{mm} \sim -1.3\text{mm}$ 、測定誤差の平均値  $1.43\text{mm}$  であった。No.3 供試体の誤差が  $1.0\text{mm}$  以上と、他の供試体と比較し大きい結果となった要因としては、上鋼板のそりにより空隙量の確保ができなかったことと、変位計の位置が荷点直下から  $20\text{mm}$  程度離れていたことによるものと考えられる。よって、 $1.0\text{mm}$  以上の空隙であれば、測定値に対するばらつきも少なく、適用可能な精度であると考えられる。

しかし、空隙量 3.0、6.0mm の供試体については上鋼板が塑性変形しており、荷重除荷後も変形が残留した状態であった。詳細には図 - 5 の荷重と変位の関係からわかるように変位が  $1.0 \sim 1.5\text{mm}$ 、荷重が  $30\text{KN}$  程度で塑性域に達している。よって、本手法は空隙量の確認には適用可能であるが空隙量が多い場合 ( $1.0 \sim 1.5\text{mm}$  以上) 結果的に構造物に損傷を与えてしまうため、品質管理手法という観点からすると不相当であると判断する。

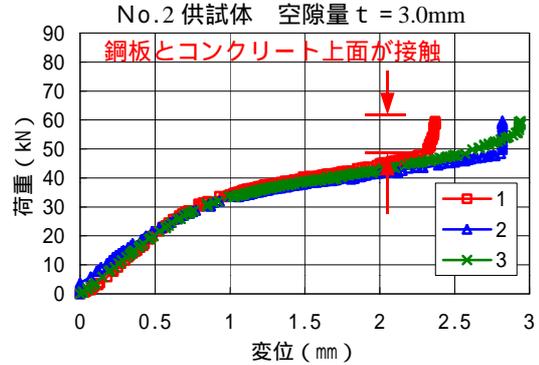


図 - 5 荷重と変位の関係

荷重除荷後の変形を示す写真。写真 - 2 に示すように、荷重が除去された後も、鋼板が変形したままの状態にあり、元の形状に戻っていないことが確認できる。



写真 - 2 荷重除荷後の変形

4.3 R I 法 (取り扱い許可を必要としない低レベルの線を用いた空隙厚測定法)

4.3.1 実験概要

ガンマ線による空隙測定とは、放射線源から放出される微少なガンマ線を検出器により計数する際、そのガンマ線の数空隙の影響により変化することを利用したものである。今回の実験に際しては、散乱型の間隙測定器を使用し計測を行った。本機器は計測に先立ち、まず既知の空隙を有する供試体を対象として検量を行い、ガンマ線計数率比と空隙量の関係を求める必要がある。具体的には、2 点以上の測点より空隙量と計数率比との関係を近似直線にて求め、これを用いて空隙量を推測するも

のである。本実験については、既知の空隙量を有する供試体 (t=0、1.0、3.5、6.5mm) を用い4測点の検量を行い、ガンマ線計数率比と空隙量の関係の導き以後の計測の基準とした。図-6に検量した近似直線を示す。

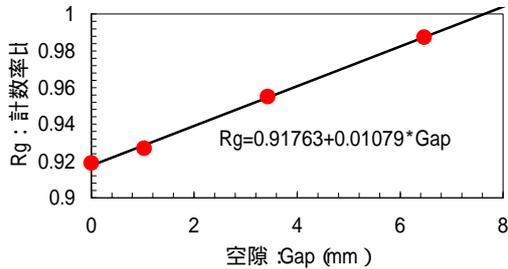


図-6 ガンマ線計数率比と空隙量の関係

(1) 供試体

供試体は、変位測定に用いた空隙量 t=6.0mm の供試体、また打音法で使用した空隙量 t=0、1.0、5.0、10.0mm の4供試体および輪荷重走行試験を終えたサンドイッチパネルを試験体とし計測を行った。

供試体一覧を表-4に示す。

表-4 供試体の一覧

供試体番号	部位	設定空隙量 (mm)
1	A,B,C,D	6.0
2	-	0.0
3	-	1.0
4	-	5.0
5	-	10.0
6	E	試験後供試体で空隙音なし
	F	試験後供試体で空隙音あり

(2) 実験方法

計測は、間隙測定器を上面鋼板の上に据えて行うが、計測器の大きさに対しボルト間隔が狭いため、ボルト間隔内に収まる木製の台座を作製し計測を行うこととした。上記に述べた検量も同様の方法で行った。



写真-3 供試体測定状況

4.3.2 実験結果および考察

測定結果を表-5に示す。表に示した空隙量は3回の測定結果を平均した値である。結果としては、1.0mm以下の空隙量0、1.0mmについては結果がマイナス表示等、現状に反する結果となり、1.0mm以下の適用に関してはキャリブレーション等、今後検討が必要である。

空隙量 5.0、6.0mm では測定誤差が 1.0mm 以下、空隙量 10.0mm の場合でも 2.0mm 程度であった。供試体 No.6 の輪荷重走行試験機による疲労試験後の供試体については、打音検査にて空隙音がある箇所とない箇所を特定し計測を行った。計測後、上鋼板に孔を明け空隙量を実測したものである。このように、1.0mm 以上の空隙量であれば 1.0~2.0mm 程度の誤差範囲であり、空隙量の確認において適用可能な測定精度であった。測定範囲としては、線源と検出器の距離が 23cm であることを考慮すると、およそ 30×30cm のボルト範囲内を検出しており、現地における一律でない空隙を平均化した数値として定量的に表現できる。また、本手法は水の影響をほとんど受けないため、現地に即した方法である。

表-5 測定結果

供試体番号	設定空隙量 (mm)	ガンマ線測定値 (mm)	誤差 (mm)
1	6.0	6.9	+0.9
		5.4	-0.6
		5.8	-0.2
		6.0	0
2	0.0	-1.1	-1.1
3	1.0	-0.5	-1.5
4	5.0	4.4	-0.6
5	10.0	8.1	-1.9
6	0.0	-0.2	-0.2
	0.8	1.1	+0.3

5. 各検討結果のまとめと考察

実験結果から、空隙量を定量的に把握する方法としては、変位測定法と R I (線)法が有効であるが変位測定法は空隙量大きい場合、結果的に構造物を傷める可能性があり、品質管理手法としては適当でない。打音法に関しては、現在のところ定量的な空隙量の把握は不可能であるが、手法が容易であるため広い範囲の分布を把握することは可能である。

以上から、空隙範囲の把握には打音法で、空隙量の測定には R I (線)法を適用し、これらを併用することによりかなりの精度で空隙を検査することが可能であると考えられる。

6. あとがき

実験により空隙厚の測定手法として、R I (線)法が現場条件にも適合し非常に有効であることが確認された。しかし、これは 1.0mm 以上の空隙の場合であるため、今後 1.0mm 以下の測定手法が必要な場合には、R I (線)法に使用する測定器の改良も含め、さらなる検討が必要となってくる。

今後は、現地における R I (線)法の検証および打音法を応用した広範囲の空隙分布確認手法の検討を行う予定である。

参考文献

1)野原、小林、鹿島：サンドウィッチ床版による既設床版取替え工法の施工管理について、土木学会北海道支部論文 報告集、第 57 号、pp.314-317、2001。