

埼玉大学 正員 町田篤孝

1. まえがき

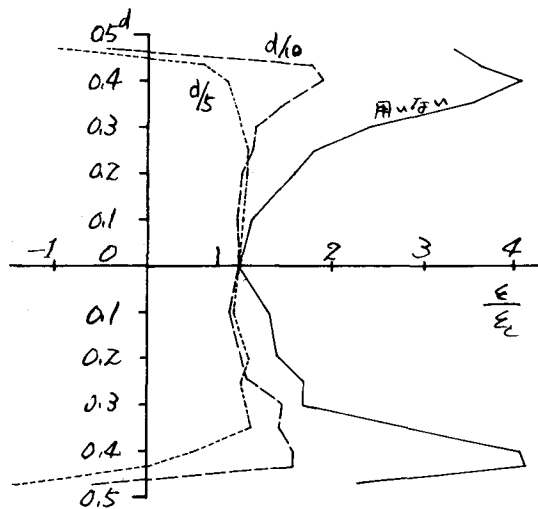
赤沢常雄氏の考案による圧裂試験方法は、単純引張試験と比べてはるかに手軽で、試験値のばらつきが小さいという利点から、JISでは、この方法をコンクリートの引張強度試験として規定し、また、諸外国においても、同様にして、取り入れられている。この、規格となっている試験方法を大別すれば、供試体を、直接、試験機の加圧盤の間にはさむ、JISの方法と、供試体と加圧盤の間にベニヤ板などの分布板をはさみ、これを介して載荷する方法との、2種類に分けられる。

本文は、圧裂試験における上記の2種類の方法について、供試体の垂直軸上の水平ひずみの分布、ひびわれ状況、ならびに引張強度の試験結果、等をもとに、比較検討したものである。本研究に対しては、土木学会より、昭和46年度吉田研究奨励金を授与された。ここに厚くお礼申し上げる。

2. 供試体の垂直軸における水平ひずみの分布

分布板を用いない試験方法と、分布板を用いる試験方法とにおける、供試体の垂直軸上の水平ひずみ分布の相違を明らかにするため、粗骨材の最大寸法を 12.5mm とした、直径 30mm ×高さ $10\sim 15\text{cm}$ の供試体を用いて圧裂試験をおこない、ゲージ長さ 3mm の歪ゲージで水平ひずみを測定した。なお、本実験を通じて、用いた分布板は、耐水合板(日本農林規格1号 厚さ 3mm 、一部では 10mm)である。この測定結果の一つは、図-1に示すようであり、この試験によって、分布板がひずみ分布に及ぼす影響が明瞭に示めされた。即ち、分布板のない場合、供試体の中心から $0.4d$ (d :直径)の範囲にあっては、中心から端部に向うに従ってひずみが急激に増大するのに対し、分布板をはさんだ場合、この範囲におけるひずみの変化がゆるやかである。この傾向は、分布板の巾が大となるに従って著しくなると、 $d/5$ 程度の中分布板を用いれば、ひずみの変化は非常に小となるのである。また、分布板のない場合、 $0.4d$ 付近でひずみが最大となるのに対し、分布板を用いた場合には、巾が大となるに従って、最大のひずみを示す点が中心に近づく傾向が認められる。

図-1 分布板がひずみ分布に及ぼす影響の一例

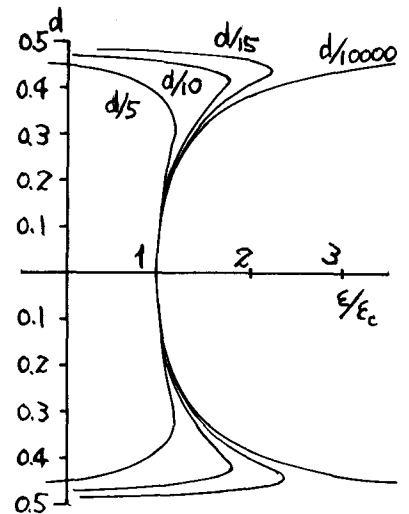


分布板の巾が、ひずみ分布に及ぼす上述の影響は、弾性体の円板の端部の一部の、中心に対して対称な位置に、中心に向う等分布荷重が載荷される場合の、円板内部の理論応力(川本勝石、応用弾性学)から計算したひずみ分布の傾向とよく一致する(図-2参照)。このことと、前述のひずみ測定の結果から、分布板を用いない圧裂試験において供試体の垂直軸上に生ずるひずみは、中心が

ら0.4dの範囲では、荷重の分布ゆによつて生ずる相違以外、分布板を用いる場合のひずみと根本的相違はないと考えられる。即ち、分布板を用いない場合においては、供試体の加圧盤に接する部分が幾分つぶれることにより、載荷中の狭い分布荷重が載荷された状態となり、この状態によるひずみが生ずるものと考えられるのである。

このことから、分布板を用いない場合、供試体によつて荷重の分布ゆが相違して、試験結果にばらつきを生ずる原因と考えるのが考えられる。しかし、破壊の直前で測定した結果、この分布ゆは、コンクリート強度が同じ場合ほとんど一定であり、強度が相違しても、幾分の相違が認められるのみであった。即ち、直径15cmの供試体の場合、 $\sigma/\epsilon = 40\%$ の場合で、約 $d/11$ であり、 $\sigma/\epsilon = 70\%$ で約 $d/15$ であったのである。従つて、分布板を用いない場合の、上述のようなおそれ、ほとんどないと考えてよいと思われる。

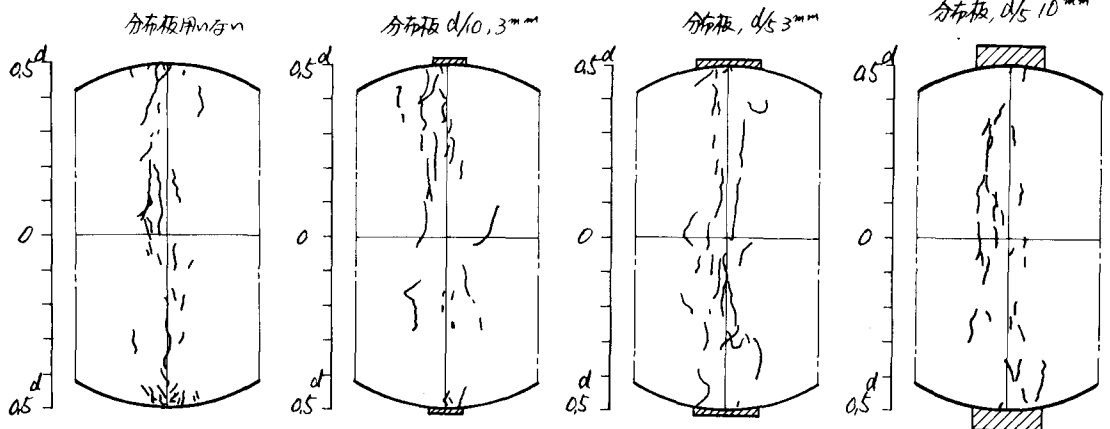
図-2 ひずみ分布の計算値



3. 圧裂試験におけるコンクリートのひびわれ発生状態

X-Yレコーダに記録させた試験中の供試体の中心における水平ひずみの載荷に伴う変化から、供試体が破壊に達する瞬間を判定し、この直前に荷重を除いて、ひびわれの発生状態を観察した。このときの最大荷重は、破壊荷重の平均96%であつて、この方法で判定した状態は、破壊状態に十分に近しいものである。なお、ひびわれの観察には、倍率20倍の顕微鏡を用いた。図-3は、この方法によつて観察したひびわれを、試験方法別にすべての供試体について重ね合せて示したものである。図-3には、分布板を用いない場合、加圧部付近に短いひびわれが数多く発生していることが示めされている。このひびわれは、加圧部が局部的に破壊することによるものと考えられるのであつて、分布板を用いる場合には、発生することが非常に少くなる。また、このひびわれは、後述するように、破壊に達するより相当に低い荷重で発生すると考えられる。このことから、分布板を用いない場合、こ

図-3 破壊直前のひびわれ発生状況



の種のひびわれによって、破壊が誘発され、試験結果に悪影響を及ぼすことが考えられる。しかし、このひびわれは端部に限られていて、供試体中心に向って進行している様子は、ほとんど見られない。また、中心部に、このひびわれと独立に発生したひびわれの状況は、分布板のある場合と大差なく、中心から加圧部に向って増加している様子も認められる。従って、分布板を用いない場合に於けるこの種のひびわれは、加圧部の局部に限られるものであって、試験結果に決定的な影響を及ぼすものではないと思われる。分布板を用いない供試体の水平ひずみの測定において、最も加圧部に近い点（中心より0.467d離れた点）のひずみが、破壊荷重の約65%程度より急激に増大し始め、ついにひずみ分布の最大値を示すに到ったものがあつたが、これもこの種のひびわれによるものと考えられるのであつて、このことは、分布板を用いない場合の加圧部付近のひびわれは、破壊荷重に達する相当前に発生することを示すものと思われる。しかし、この実験においても、0.4d点より内部のひずみが、端部のひずみに影響された傾向は認められなかった。

図-3には、供試体の中心軸に近い部分におけるひびわれ発生位置の垂直方向の分布は、分布板の有無ならびに分布板の巾によって、ほとんど影響を受けないことが示されている。試験の数が十分でないため断言することとは出来ないうが、このことは、分布板が、供試体の垂直方向における破壊の発生位置にほとんど影響を及ぼさないことを示すものと思われる。試験方法とひびわれ発生状況の関係については、なお検討を続けている。

4. 圧裂強度試験方法が試験結果に及ぼす影響

分布板の有無及び分布板を用いる場合の分布板の巾が試験結果に及ぼす影響を検討した結果は、表-1に示すようであつて、最大荷重 P より $\sigma = 2P/\pi d l$ の式を用いて引張強度を算出した場合、分布板によって、結果は相当に相違する。即ち、分布板を用いない場合が最も小さく、分布板の巾が大になるに従つて大となるのであつて、例えば、圧縮強度が 360 kg/cm^2 程度のコンクリートの場合、 $d/10$ 及び $d/5$ の分布板を用いた場合には、これを用いない場合より夫々、8%及び16%大きな強度が示められるのである。この原因の主なもの、分布荷重を載荷した試験結果に、集中荷重の場合の式を適用していることにあるのは明らかであつて、実際の強度を算出するには、例

表-1 試験方法が試験結果に及ぼす影響

W/C 圧縮強度	分布板	①引張強度 平均値 (kg/cm^2)	変動係数 (%)	①の上 ヒ	②修正した 引張強度 (kg/cm^2)	②の上 ヒ	供試体 の数
40% kg/cm^2 519	用いない	34.4	5.8	1	27.4	1	10
	$d/10, 3^{\text{mm}}$	35.4	7.1	1.03	25.6	0.93	7
	$d/10, 10^{\text{mm}}$	35.1	7.2	1.02	25.4	0.93	3
	$d/5, 3^{\text{mm}}$	39.2	3.4	1.14	(22.0)	(0.80)	6
	$d/5, 10^{\text{mm}}$	39.1	3.5	1.14	(22.0)	(0.80)	6
55% kg/cm^2 360	用いない	28.6	5.3	1	22.8	1	5
	$d/10, 3^{\text{mm}}$	30.1	3.8	1.08	21.8	0.96	5
	$d/5, 3^{\text{mm}}$	33.2	4.4	1.16	(18.7)	(0.82)	3
	$d/5, 10^{\text{mm}}$	33.2	6.4	1.16	(18.7)	(0.82)	3
70% kg/cm^2 215	用いない	21.6	—	1	17.2	1	2
	$d/10, 3^{\text{mm}}$	25.2	—	1.16	18.2	1.06	2
	$d/5, 3^{\text{mm}}$	28.3	—	1.31	(15.9)	(0.92)	2

コンクリートのスランパはすべて8~10mmであつた。
①は、 $\sigma = 2P/\pi d l$ により計算したものである。
②は、Vuorinenの換算式により計算したものである。

えば、Vuorinen の式のように、荷重の分布巾を考慮に入れた式を用いる必要があることは当然である。しかし、先に述べたように、分布板を用いない場合でも、作用する荷重は分布荷重であるので、このような方法で修正しても、実際のコンクリートの引張強度は求められない。圧裂試験によって引張強度を求めようとする場合、信頼の出来る単純引張試験の結果と比較することが必要と思われる。

分布板が試験結果に及ぼす上述の影響は、コンクリートの強度によって相違する。即ち、コンクリート強度が大きい場合は、分布板による影響は小さいが、強度が小になるに従って大となり、d/5 の分布板を用いた場合は、用いない場合の30%も大きい強度を示す場合があるのである。このことは、圧裂試験における試験結果を修正しようとする場合、荷重の分布巾のみを考慮に入れるのでは不十分であることを示すものである。

なお、分布板の厚さを変化させた場合の試験結果を表-1 に示す通りであって、コンクリート強度にかかわらず、分布板の厚さは試験結果にほとんど影響しないことが認められる。また、分布板の厚さが変化しても、垂直軸上のひずみ分布及びひびわれ状況にはほとんど差が認められなかった(図-3 参照)。これらの結果より、分布板の材質が試験結果に及ぼす影響は非常に小さいと思われる。

5. JIS 規格による方法とその他の方法の比較

現在、規格化されている代表的な圧裂試験方法には、分布板を用いない JIS 規格による方法、d/10 の分布板を用いる RILEM の方法及び d/6 の分布板を用いる ASTM の方法がある。これらのいずれの方法においても、引張強度は $\sigma = P/A$ で求めることとしているので、先に述べたところにより、同じコンクリートでも、示めされる引張強度は、試験方法によって相当に異なると考えられる。従来より、JIS の方法は、単純引張試験による結果とよく一致することが指摘されているが、これは、JIS の方法の載荷条件が、他の方法と比べて最も集中荷重に近いことから、当然予想されることで、この点に JIS の方法の利点が認められよう。しかし、先に述べたところにより、JIS の方法でも荷重が幾分かの分布巾を有しているのであって、上記のいずれの試験方法でも、コンクリートの引張強度に密着な関係がある「強度」を試験しているという性質には、差がないと考えられる。また、なお検討が必要ではあるが、先に述べたように、分布板の有無及び分布板の巾によつては、破壊に直接関係するひびわれの発生状況に大差がないと考えられるので、上記のいずれの試験方法によつても、その破壊機構が極端に相違することは考えられないのである。

このように、各試験方法の本質的な優劣は、本試験からは十分に明らかにならなかつた。このような場合、各試験における結果のばらつきの程度及び試験方法の手軽さが、重要な判断規準となると思われる。表-1 に示めされているように、本試験全体を通じた場合、JIS 規格及び RILEM 規格による結果のばらつきには大差なく、変動係数は 6% 前後であった。また表-1 より、ASTM の方法は、これより幾分ばらつきが大きいものと考えられる。しかし、これは、十分に慎重に試験した場合の結果であつて、各試験方法をより詳細に検討するには、供試体を偏心して据えた場合ならびに供試体と加圧盤あるいは分布板との間のすきまがある場合、等における試験結果のばらつきを検討することが必要である。また、試験方法の手軽さからいへば、JIS による方法が最も優れているといえる。これは、分布板を用いる場合、供試体と分布板を偏心させないようにして試験機の加圧盤の中心に据えるのとは、相当の煩雑さがあるからである。