

1. 緒言

コンクリートの引張強度を求める試験法のひとつに窒素ガス引張試験がある。この試験法は、元々英国の British Research Establishment によって開発された¹⁾。この試験では、円柱供試体を両端が開放された鋼製円筒型の載荷装置に設置し、圧力媒体として窒素ガスを用い、ゴムスリーブなどを一切介さずにコンクリート円柱供試体の側面に直接窒素ガス圧を加える。窒素ガス圧を次第に増加させていくと供試体の軸方向に直交するひび割れ面が形成される。またその時の窒素ガス圧力は、ほぼコンクリートの引張強度に等しいことが実験的に確認されている¹⁻³⁾。しかしながら、この試験におけるコンクリート供試体の破壊メカニズムは完全に解明されているとはいえない。そこで、窒素ガス引張試験法における破壊メカニズムを解明するための基礎的研究として、形状の異なる2種類の供試体を用いて窒素ガス引張試験を行った。

2. 試験の概要

2.1 円柱供試体と中空円柱供試体の弾性応答

Fig.1 に示すように本試験では、直径 100mm 高さ 200mm の通常の円柱供試体と外径 100mm で壁厚 20mm、高さ 200mm の中空円柱供試体を用いた。窒素ガス引張試験を実施する前に、円柱供試体と中空円柱供試体の応力状態について検討した。弾性論によれば、Fig.2 に示されるように中心から半径 r の任意の点における応力状態は次式により与えられる⁴⁾。

$$\sigma_r = \frac{p_0 R_0^2 (r^2 - R_1^2)}{r^2 (R_0^2 - R_1^2)} \quad (1)$$

$$\sigma_t = \frac{p_0 R_0^2 (r^2 + R_1^2)}{r^2 (R_0^2 - R_1^2)} \quad (2)$$

ここで、 σ_r ：半径方向応力、 σ_t ：接線方向応力、 R_0 ：外径、 R_1 ：内径である。

一定側圧 p_0 が作用した場合における円柱供試体と中空円柱供試体のそれぞれの応力状態について、式(1)と(2)によって計算した結果を、Fig.3 に示す。この結果から、円柱供試体と中空円柱供試体では、明らかに異なる応力状態にあることがわかる。中空円柱供試体内における応力は半径 r の関数となっているのに対し、円柱供試体内の応力は位置によらず一定である ($\sigma_t = \sigma_r = p_0$)。中空円柱供試体では、半径方向応力 (σ_r) は内壁面の位置 ($r=30\text{mm}$) で 0 であり、外壁面のところ ($r=50\text{mm}$) で p_0 になっている。また、任意の点における接線方向応力 (σ_t) は p_0 よりはるかに大きいことがわか

る。

2.2 供試体と試験手順

本研究では、Table 1 に示す Mix-A 及び Mix-B の2種類のコンクリートを使用した。この2種類のコンクリートを使って、それぞれ 16 個の円柱供試体と 6 個の中空円柱供試体を作製した。試験時における Mix-A と Mix-B の圧縮強度は、それぞれ 51.8MPa と 92.0MPa であった。窒素ガス引張試験における加圧速度は $0.01\text{N/mm}^2/\text{sec}$ とした。また、窒素ガス引張試験で求まるガス引張強度と比較するために割裂強度試験を行った。



Fig.1 Solid and hollow cylinders

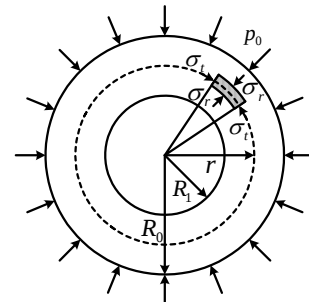


Fig.2 Stress state in hollow cylinder

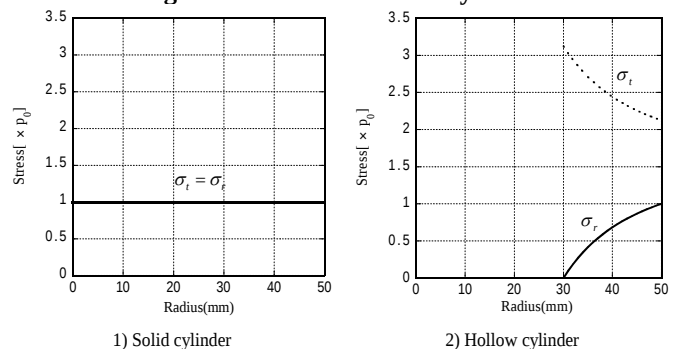


Fig.3 Calculated stress states

Table 1 Mix proportions (kg/m³)

Designation	Cement	Silica fume	Sand	Coarse aggregate	Water
Mix-A	382	0	858	858	218
Mix-B	453	44	796	1052	139

キーワード：コンクリート、窒素ガス引張試験、引張強度、破壊メカニズム

連絡先：〒239-8686 神奈川県横浜市中区水1-10-20 防衛大学校 TEL：046-841-3810(内線3519) E-mail：g43058@nda.ac.jp

3. 試験結果及び考察

3.1 供試体の破壊状況

すべての供試体において、供試体の軸方向に直交するひび割れが形成された。円柱供試体と中空円柱供試体の破壊状況に違いは全くなかった。圧縮強度 51.8MPa を有する Mix-A シリーズでは骨材とモルタル間の付着破壊が顕著であるのに対し、圧縮強度 92.0MPa を有する Mix-B シリーズでは粗骨材自体の破壊が顕著にみられた。一般的に、コンクリートの引張りひび割れは、普通強度コンクリートの場合には粗骨材の周りに沿って進展する傾向があるのに対し、高強度コンクリートにおいては粗骨材を貫通して進展することが知られている⁵⁾。したがって、本試験で供試体に形成された破壊面の状況は破壊面に引張応力が作用したことを裏付けるものと考えることができる。

3.2 窒素ガス引張試験における終局強度

Table 2~5 は Mix-A と Mix-B の割裂試験の結果と窒素ガス引張試験で得られた終局強度(供試体破壊時の窒素ガス圧力を意味する)の結果を示している。Mix-A と Mix-B の割裂強度は、それぞれ 3.70MPa と 5.17MPa であった。窒素ガス引張試験による円柱供試体と中空円柱供試体の終局強度は、Table 4 と Table 5 に示すように Mix-A の場合はそれぞれ 4.04MPa と 4.11MPa、Mix-B の場合にはそれぞれ 5.21MPa と 5.74MPa であり、両シリーズとも概ね等しい値となった。したがって、試験結果の統計的なばらつきを考慮すると、円柱供試体と中空円柱供試体の終局強度は、基本的に等しいと考えることができる。また、窒素ガス引張試験で得られた終局強度は割裂強度とほぼ一致している。円柱供試体と中空円柱供試体の破壊時の終局強度が等しいことから、次のような破壊プロセスが考えられる。まず初めに、コンクリートの引張強度に等しいガス圧力で供試体の表面に微小なひび割れが形成される。一度ひび割れが形成されると、高圧のガスがそのひび割れに流入し、さらにひび割れを進展させ、ほぼ一定圧力下で供試体にひび割れ面が形成される。コンクリート材料は元々荷重の作用を受ける前から微小なひび割れや細孔を含んでおり、引張りひび割れは供試体表面のこれらの欠陥を起点として形成されたと考えられる。

4. 結 言

- (1) 窒素ガス引張試験における円柱供試体と中空円柱供試体の終局強度はほぼ等しい。
- (2) 試験結果に基づき、供試体の破壊プロセスについて考察した。

5. 参考文献

- 1) Clayton, N. and Grimer, F. J., "The diphasic concept, with particular reference to concrete", in "Developments in concrete technology - 1", edited by Lydon, F. D., pp.283-318, Applied Science Publishers LTD, UK, 1979.
- 2) Clayton, N., "Fluid-pressure testing of concrete cylinders", Magazine of Concrete Research, Vol.30,

Table 2 Splitting tension test results for Mix-A

Test no.	Tensile strength (MPa)		
	Measured value	Mean value	Standard deviation
1	3.32	3.7	0.443
2	3.36		
3	3.72		
4	3.47		
5	4.51		
6	3.82		

Table 3 Splitting tension test results for Mix-B

Test no.	Tensile strength (MPa)		
	Measured value	Mean value	Standard deviation
1	6.05	5.17	1.06
2	6		
3	4.06		
4	3.67		
5	5.28		
6	5.99		

Table 4 Nitrogen gas tension test results for Mix-A

Specimen designation	Test no.	Ultimate strength (MPa)		
		Measured value	Mean value	Standard deviation
Solid specimen	1	3.85	4.04	0.275
	2	3.72		
	3	4.1		
	4	4.02		
	5	4.53		
	6	4.04		
Hollow specimen	1	4.47	4.11	0.379
	2	4.48		
	3	3.65		
	4	4.06		
	5	4.33		
	6	3.67		

Table 5 Nitrogen gas tension test results for Mix-B

Specimen designation	Test no.	Ultimate strength (MPa)		
		Measured value	Mean value	Standard deviation
Solid specimen	1	5.22	5.21	0.351
	2	4.82		
	3	5.79		
	4	5.43		
	5	4.98		
	6	5.05		
Hollow specimen	1	5.84	5.74	0.339
	2	5.23		
	3	5.86		
	4	6.24		
	5	5.54		
	6	5.72		

No.102, pp.26-30, March, 1978.

- 3) Boyd, A. J. and Mindess, S., "The effect of sulfate attack on the tensile to compressive strength ratio of concrete", Proceedings Third International Conference on Concrete Under Severe Conditions, Edited by N. Banthia, K. Sakai and O. E. Gjorv, Volume One, pp.789-796, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2001.
- 4) Timoshenko, S. P. and Goodier, J. N., "Theory of Elasticity", Third Edition, McGraw-Hill, 1984.
- 5) Mindess, S., Young, J. F. and Darwin, D., "Concrete", Second Edition, Prentice Hall, 2003.