

窒素ガス引張試験法におけるコンクリート供試体の破壊メカニズムに関する破壊力学的考察

防衛大学校 学生会員 ○宇野 隆浩 学生会員 宮崎 祐樹
防衛大学校 正会員 藤掛 一典 正会員 佐藤 紘志

1. 緒 言

コンクリートの窒素ガス引張試験は、元々英国の Building Research Establishment によって開発された¹⁾。この試験では、Fig.1 に示すように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介さずにコンクリート円柱供試体の側面に直接加える。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⁾。この窒素ガス引張試験法は、既往の強度試験法と比較して、試験装置自体が簡易で経済的であること、供試体の端面処理が不要で現場試験が可能であるなど多くの利点を有している。しかしながら、窒素ガス引張試験におけるコンクリート供試体の破壊挙動についてはいくつかの矛盾点が指摘されるとともに、本試験における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、多くの利点を有する本試験法を広く普及するためには、破壊メカニズムを解明することが必須である。

2. 円柱供試体と中空円柱供試体を用いた実験

本試験法における供試体の破壊メカニズムを解明するため、まず、Fig.2 に示すような同じ窒素ガス圧の作用によって異なる内部応力状態を生じる円柱供試体と中空円柱供試体を用いた実験を行い、供試体の破壊が何に依存しているのかを調べた。なお、実験では圧縮強度が異なる 2 種類のコンクリート(Mix-A: 51.8MPa, Mix-B: 92.0MPa)を用いた。その結果、Table 1 に示すように破壊時の窒素ガス圧は両供試体ともほぼ等しく、また割裂試験による引張強度にもほぼ等しくなった。この結果から、供試体の破壊は内部の応力状態に依存せず、次のような破壊プロセスが考えられる。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、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というものである。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。コンクリート供試体表面のひび割れとその進展が破壊メカニズムを解明する上で重要と考える。

3. 線形破壊力学に基づく供試体の破壊理論

ここでは、線形破壊力学に基づく供試体の破壊メカニズム理論を構築するために、Fig.3 に示すように表面に長さ a の理想的な切欠きを有する半径 R の供試体を考える。窒素ガス圧(p)を受ける切欠

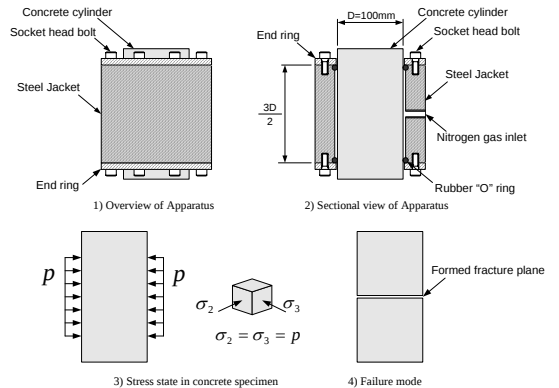


Fig.1 Nitrogen gas tension test



Fig.2 Solid and hollow specimen

Table 1 Test results (Solid and hollow)

Mix	Test name	Mean value	Standard deviation
Mix-A	Solid	4.04	0.28
	Hollow	4.11	0.38
	Splitting test	3.70	0.44
Mix-B	Solid	5.21	0.35
	Hollow	5.74	0.34
	Splitting test	5.17	1.06

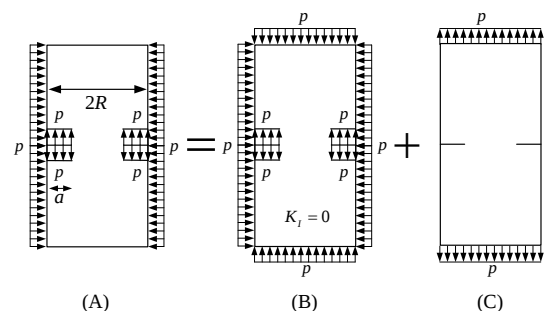


Fig.3 Double edge notched specimen

きを有する供試体は Fig.3 中の状態 A で表される．線形弾性を仮定すると，状態 A は状態 B ならびに状態 C の重ね合わせによって表すことができる．状態 B は静水圧载荷を意味しひび割れの進展には無関係となることから，ひび割れの進展は状態 C に依存することになる．線形破壊力学を適用すると状態 A は状態 C と等価と考えることができる．状態 C における応力拡大係数(K_I)は次式で与えられる．

$$K_I = p\sqrt{\pi a} \cdot F\left(\frac{a}{R}\right) \quad (1)$$

ここで、

$$F\left(\frac{a}{R}\right) = \frac{1.122 - 0.561\left(\frac{a}{R}\right) - 0.205\left(\frac{a}{R}\right)^2 + 0.471\left(\frac{a}{R}\right)^3 - 0.190\left(\frac{a}{R}\right)^4}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{R}\right)}}$$

線形破壊力学におけるひび割れの進展基準は，応力拡大係数ならびに破壊じん性値(K_{IC})によって次式で与えられる．

$$K_I = K_{IC} \quad (2)$$

4. 切欠き長さをパラメータとした供試体を用いた実験

線形破壊力学に基づく破壊理論の適用性を確認するため，Fig.4 に示すような切欠き長さが 0, 2, 5, 10, 20, 30mm の円柱供試体をそれぞれ 6 個作製した．実験時における圧縮強度は 24.6MPa で，割裂試験による引張強度は 2.28MPa であった．また，窒素ガス引張試験における加圧力速度は 0.03MPa/sec とした．

5. 実験結果及び考察

各切欠き長さを有する供試体を用いた窒素ガス引張実験の結果と，式(1)及び式(2)から計算した結果を Fig.5 に示す．なお，コンクリートの破壊じん性値(K_{IC})は CEB-FIP モデルから 1.33 とした．線形破壊力学に基づいて評価した破壊ガス圧は試験結果よりもかなり大きくなる．これは，この問題に線形破壊力学に基づく破壊理論を適用するのは困難であることを表していると考えられる．しかしながら，Fig.5 に示す実験結果をみると，切欠き長さが約 5mm 以下においては，破壊時の窒素ガス圧は切欠きの寸法に依存せずほぼ一定値を示している．このことから，ある切欠き寸法以下においては材料固有の破壊応力が存在すると考えられる．すなわち，線形破壊力学に基づいて計算される破壊ガス圧は，この材料固有の破壊応力(引張強度)を超えることはないといえる．このような現象は，コンクリートの寸法効果や座屈などにもみられる．この考え方に基づけば，ある切欠き長さ以上の切欠き寸法依存性領域については次のように考えることができる．Fig.6 に示すように，状態 A の切欠き中実部分(丸印で囲った供試体内部)には切欠き部分に作用する窒素ガス圧により状態 B のように引張応力(σ_t)が作用するとともに，その側面には窒素ガス圧が作用することになる．切欠き中実部分の側面にも微小なひび割れが存在すると考えられることから，線形破壊力学を適用すると Fig.6 中の状態 C と等価な問題となる．したがって，切欠き中実部分の軸方向に作用する応力($\sigma_t + p$)が材料固有の破壊強度に達したときに破壊するものとすれば，破壊ガス圧は Fig.5 の実線に示すように与えることができ実験値ともよい一致を示すことが確認できる．

6. 結 言

本研究では，線形破壊力学を適用して破壊メカニズムを構築するとともに，ある切欠き寸法以下では材料固有の破壊応力(引張強度)が存在することがわかった．

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.



Fig.4 Notched specimens

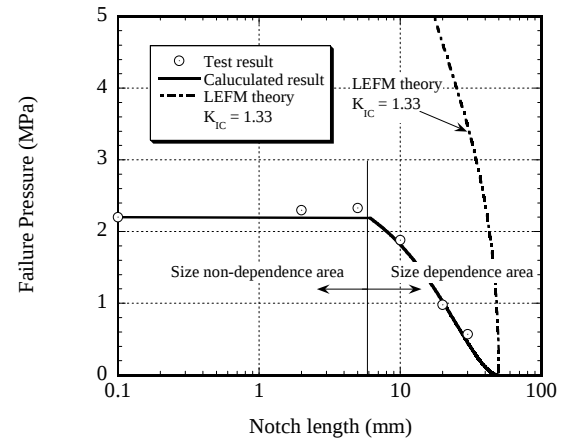


Fig.5 Test results

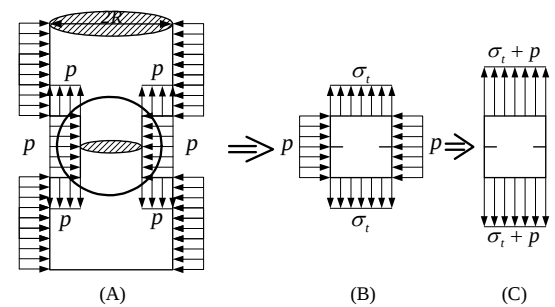


Fig.6 Failure mechanism