

急速割裂引張試験における載荷幅とひずみ速度が コンクリートの引張強度に及ぼす影響についての理論的考察

防衛大学校 学生会員 ○江田 智 正会員 別府万寿博 大野 友則 佐藤 紘志

1. はじめに

著者らはコンクリート材料の動的引張強度を簡易な試験法に基づいて評価する方法を検討することを目的として、急速割裂引張試験法の適用性について検討してきた¹⁾。その結果、動的割裂引張強度が試験に用いる円柱供試体寸法（直径、長さ）の増大に伴って低下する現象がみられ、その原因として供試体と載荷板との接触幅や載荷速度が大きく影響していることがわかった。本研究は、これらが動的割裂引張強度に及ぼす影響について理論的な考察を行ったものである。

2. 試験の概要

急速割裂引張試験における試験パラメータは、円柱供試体寸法（直径、長さ）および載荷速度である。コンクリート円柱供試体の寸法は供試体の長さを直径の2倍としたうえで、直径を50mm, 75mm, 100mm および150mmと変化させた。載荷速度は、静的、低速(0.1m/s)、中速(1.0m/s)、および、高速(4.0m/s)の4段階である。供試体に用いたコンクリートは水セメント比55%、圧縮強度は38.5MPaであった。それぞれ同じ条件で3体ずつ試験を行った。

3. 試験結果に対する理論的考察

3.1 接触幅が割裂強度に及ぼす影響

図-1に、静的試験結果を示す。ここで、割裂引張強度 f_t は弾性力学に基づいた式(1)によって算出している。

$$f_t = \frac{2P}{\pi d \ell} \quad (1)$$

ここに、 P ；荷重、 d ；供試体の直径、 ℓ ；供試体の長さである。また、静的試験後に、載荷板による供試体に残った接触痕の幅 $2a$ をノギスで計測し、直径 d で割ったもの（以後、無次元接触： $2a/d$ とする）の平均と直径の関係を図-2に示す。図-1と図-2を比較すると、強度および無次元接触幅はともに直径100mmまで直径の増大に伴い減少し、その後、直径150mmではやや大きくなるなど、両者は同様の傾向を示していることがわかる。すなわち、無次元接触幅と寸法効果には何らかの関係があると思われる。そこで、無次元接触幅の影響を理論的に考察するため、図-3に示すモデルを考える。図-3(a)は円周上のある1点に1集中荷重 P を載荷した状態であり、このとき供試体中央部には式(2)に示す応力が発生する。

$$\sigma_{xx} = \frac{2P}{\pi d} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \frac{2P}{\pi} \left(\frac{1}{r_1} \cos \varphi_1 \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{r_2} \cos \varphi_2 \cos^2 \alpha_1 \right) \quad (2a)$$

$$\sigma_{yy} = \frac{2P}{\pi d} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - \frac{2P}{\pi} \left(\frac{1}{r_1} \cos \varphi_1 \sin^2 \alpha_1 + \frac{1}{r_2} \cos \varphi_2 \sin^2 \alpha_2 \right) \quad (2b)$$

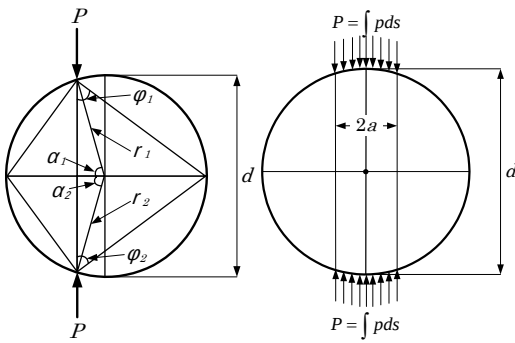
ここに、 σ_{xx} ；載荷軸直交方向の応力、 σ_{yy} ；載荷軸方向の応力 φ_1 、 φ_2 ；円周上点と載荷点のなす角、 α_1 、 α_2 ；供試体中心と載荷点のなす角、 r_1 、 r_2 ；載荷点から供試体中心までの距離である。

ここで、集中荷重 P を図-3(b)のように分布荷重 p に変換して作用させれば、接触幅による引張応力の変化が求まる。そこで、実験結果を参考にして直径の1/20、1/15、1/10、1/5の接触幅について検討した。点載荷の荷重を1000N、分布載荷では領域を100分割して、それぞれの分割点に10Nを載荷している。分布載荷のケースにおける引張応力は、各分割割荷重10Nによって生じる応力を重ね合わせて求めた。図-4に供試体中央部に生じる引張応力を中央1点集中載荷の場合に生じる応力で割った応力比を示す。これより、無次元接触幅が大きくなると中

キーワード 急速割裂引張試験、寸法効果、ひずみ速度効果、接触幅

表 - 1 ひずみ速度と強度

直径 (mm)	ひずみ速度 (1/sec)	平均ひずみ 速度 (1/sec)	強度 (MPa)
50	0.222	0.225	8.35
	0.233		8.15
	0.220		9.89
150	0.121	0.112	5.40
	0.100		5.88
	0.114		5.67



(a) 点荷重

(b) 分布荷重

図 - 3 載荷幅と引張強度の検討

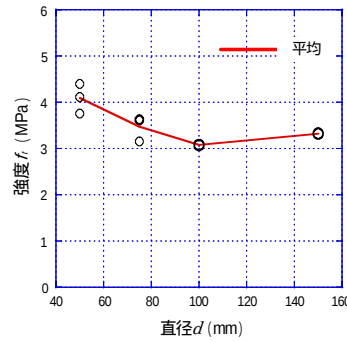


図 - 1 静的試験結果

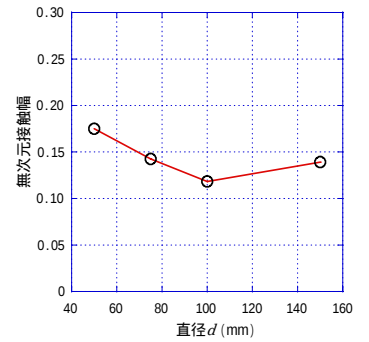


図 - 2 無次元接触幅

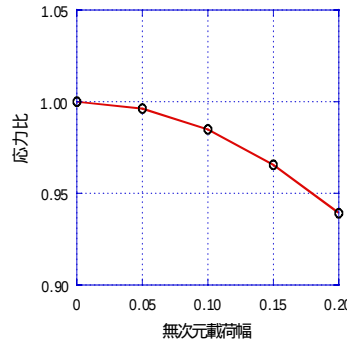


図 - 4 無次元載荷幅と引張応力の理論値

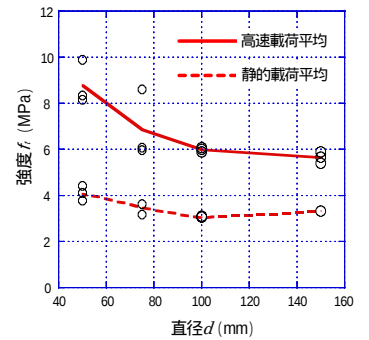


図 - 5 高速載荷における割裂強度

心に生じる引張応力は小さくなることわかる．理論的検討による応力低下率は実験値よりも小さいが，実験結果と定性的に一致している．すなわち，図 - 1 に示した直径 100mm までの強度低下は無次元接触幅が供試体寸法によって異なったことが一因であり，無次元接触幅がほぼ一定である直径 100mm と 150mm では強度の低下も収束している．

3.2 載荷速度の影響

高速載荷における割裂引張強度と供試体寸法の間を図 - 5 に示す．これより，静的載荷と比較して，高速載荷の場合，寸法の増大に伴う強度の低下が顕著になっていることがわかる．ここで，高速載荷における直径 50mm と 150mm の供試体のひずみ速度を表 - 1 に示す．これより，供試体寸法が小さい直径 50mm のひずみ速度は直径 150mm に比べ 2 倍程度大きいことがわかる．一般にひずみ速度が大きいと見かけの強度上昇が生じるので，このひずみ速度効果が寸法効果を顕著にする一因であると考えられる．以下に，供試体寸法とひずみ速度の関係を Replica 相似則により検討する．まず，同じ材料を用いているので密度相似比 ρ/ρ_m と圧力相似比 p/p_m は供試体寸法によって変化せず 1 である．また，載荷速度はどの供試体寸法でも同じであるので速度相似比 v/v_m も 1 である．ここで，ひずみ速度に関する π ナンバー（供試体の相似を考える上で同種の変数または変数の組み合わせを意味する）はひずみを生じさせる圧力 p に供試体寸法 d を乗じ，速度 v で除したものととなるから，ひずみ速度に関する相似比を n/n_m とすると， $n/n_m = (pv_md)/(p_mv_md_m)$ となる．よって，供試体寸法の相似比を $d/d_m = s$ とするとひずみ速度の相似比は

$$\frac{n}{n_m} = \frac{p}{p_m} \times \frac{v_m}{v} \times \frac{d}{d_m} = 1 \times 1 \times \frac{d}{d_m} = \frac{d}{d_m} = s \quad (3)$$

となり，供試体寸法が $1/s$ 倍になるとひずみ速度は s 倍になる．したがって，直径 50mm のひずみ速度は理論的には，直径 150mm の 3 倍になる．試験には供試体寸法によらず長さ 30mm のひずみゲージを用いたことや試験条件によって，理論値と試験値がやや異なっているが傾向は一致している．したがって，同じ載荷速度でも供試体寸法によってひずみ速度が異なるために動的寸法効果が変化したものと考えられる．

参考文献 1) 江田智，別府万寿博，大野友則，藤掛一典，佐藤紘志：引張試験法および試験体寸法の相違がコンクリートの動的引張強度に及ぼす影響，土木学会，構造工学論文集 Vol. 49A, 1279-1288, 2003.3