論文 コンクリートの割裂引張強度試験における供試体寸法の影響に関す る検討

川瀬 麻人*1・大野 健太郎*2・宇治 公隆*3・上野 敦*4

要旨:本研究では、コンクリートの割裂引張強度試験における供試体寸法が引張強度に与える影響につい て検討するため、供試体長さを200mm、断面寸法を100および150mmとした2種類の円柱供試体の割裂 引張強度試験を実施した。また、破壊過程をアコースティック・エミッション(AE)法、供試体断面の破 壊性状をひずみ分布より考察した。その結果、JIS規格速度と1/100遅い載荷速度で試験した場合、載荷速 度に関係なく寸法効果が認められた。これは、供試体高さ方向においてAE源位置標定結果および断面内 のひずみ分布に基づく初期の破壊領域が異なることに起因すると推察された。

キーワード:割裂引張強度,載荷速度,寸法依存性,破壊領域,ひずみ分布,AE法,SiGMA解析

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)製品の性能照査法について, JISA5372記載の「上ぶた式U形側溝」を例にとれば,3 点曲げ試験時に所定の荷重において,ひび割れ幅が 0.05mmを越えないことと規定されている。本製品は, 部材厚が200mm以下であり,曲げ破壊形態がひび割れ 発生と同時に破壊に至ることから,耐力算定には,次式 に示す土木学会コンクリート標準示方書記載の曲げひび 割れ強度算定式が適用されている。

$$f_{bck} = k_{0b} k_{1b} f_{tk} \tag{1}$$

ここに、 f_{bck} : コンクリートのひび割れ強度 (N/mm²), k_{0b} : コンクリートの引張軟化特性に起因する引張強度と 曲げ強度の関係を表す係数, k_{1b} : 乾燥,水和熱など,そ の他の原因によるひび割れ強度の低下を表す係数, f_{tk} : コンクリートの引張強度の特性値 (N/mm²)

しかし,式(1)の適用範囲は部材厚 200mm 以上と明記 されており,薄肉部材となる上記製品への式(1)の適用が 適当でないと判断される。そのため,筆者らは,曲げひ び割れ強度算定法の薄肉 RC 部材への適用性に関する検 討を行っている¹⁾。その結果,部材厚に応じた破壊エネ ルギーおよびコンクリートの引張軟化特性を曲げひび割 れ強度算定式に導入することで,精度の高い曲げひび割 れ強度算定が可能であることが示されている。

ところで、式(1)中のコンクリートの引張強度に関する 検討はこれまで行われていない。コンクリートの引張強 度を実験的に求める手法として、JISA1113「コンクリー トの割裂引張強度試験方法」が挙げられ、式(2)により算 出される。

$$f_l = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times l} \tag{2}$$

ここに, *f_t*: 引張強度(N/mm²), *P*: 最大荷重(N), *d*: 供試体の直径(mm), *l*: 供試体割裂面の長さ(mm)

コンクリートの割裂引張強度試験において,寸法依存 性が存在することは知られており,薄肉 RC 部材を対象 とした曲げひび割れ強度算定式においても,寸法依存性 を考慮した引張強度を適用することが考えられる。その ため,本研究では,割裂引張強度試験における供試体寸 法の影響を検討することとした。

ここで,割裂引張強度試験に使用する円柱供試体の断 面寸法は,粗骨材の最大寸法の4倍以上かつ100mm以 上とされており,粗骨材の最大寸法を20mmとした場合, 断面寸法は100,125および150mmの3種類が対象とな る。ここで,長谷川ら²⁰によれば,直径500mm以下の円 柱供試体において,断面寸法の増大に伴い,割裂引張強 度は小さくなるが,供試体長さは割裂引張強度に影響を 及ぼさないと報告されている。また,赤萩ら³⁰によれば, 直径100および150mmの円柱供試体において割裂引張 強度が異なることが示されている。

また,割裂引張強度試験の破壊過程に関する研究では, 大津ら⁴⁰のアコースティック・エミッション(以下,AE) 法による検討が挙げられ,供試体と載荷板の接触により 生じる損傷領域から破壊領域を形成し,主破壊に至る過 程が論じられている。一方,川上ら⁵⁰や上田ら⁶⁰は,供 試体断面中心から±0.3d(d:供試体直径)付近で破壊が 開始すると報告している。

これらの結果を踏まえ,著者ら⁷は,供試体直径を100, 150, 200 および 300mm とし,載荷速度を JIS 規格の1/10

*1	首都大学東京大学院	都市環境科学研究科	都市基盤環境学域(学生会員)	
*2	首都大学東京大学院	都市環境科学研究科	都市基盤環境学域助教(博士(工学)	(正会員)
*3	首都大学東京大学院	都市環境科学研究科	都市基盤環境学域教授(博士(工学)	(正会員)
*4	首都大学東京大学院	都市環境科学研究科	都市基盤環境学域准教授(博士(工学)	(正会員)

セメント		細骨材料	且目			細骨材	細目	工業 工 工 工 <				
С	C S_1					S_2			G			
普通ポルトランド	種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率
セメント	相模原産 砕砂	2.60	1.70	3.03	富津産 山砂	2.61	3.32	1.55	相模原産 砕石	2.64	1.26	6.34

表-1 コンクリートの使用材料

表-2 コンクリートの計画配合および力学的特性

		加風社の	コニンプ		売左見	如馬井安			単位量	(kg/m^3)			力学	学的特性
供試体	名 載荷速度	租 前 利 の 最大 寸 法		北	全风里	和百竹平	水	セメント	細骨材 知日	細骨材	粗骨材	混和剤	圧縮強度	割裂引張強度
		(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	С	т <u>п</u> н S ₁	^{лн} Ц S ₂	G	A*	(N/mm ²)	(N/mm ²)
410	JIS速度												46.7	3.34
φ_{10}	JIS×1/100速度	E 20	00	567	15	44.0	174	207	712	70	1007	1.22	43.4	3.44
4150	JIS速度	20	8.0	50.7	4.5	44.0	1/4	307	/12	19	1007	1.25	46.7	3.34
φ_{13}	JIS×1/100速度	F.											45.0	3.21

*スルホン酸系 AE 減水剤を使用

表-3 各円柱供試体のひずみゲージ貼付位置

y(mm)		1CH	2CH	3CH	4CH	5CH	6CH	7CH
供試休名	<i>ø</i> 100	87.5	75	62.5	50	37.5	25	12.5
DV BANK 14-21	<i>ø</i> 150	131	113	93.8	75	56.3	37.5	18.8

として円柱供試体の割裂引張強度試験を実施し、破壊過 程をAE法および供試体断面内のひずみ分布から検討し た。その結果、断面寸法が大きくなるほど断面内のひず み分布の不均一性が大きく、不均一性はAE源位置標定 結果と整合した。また、直径300mmの供試体では載荷 板付近で損傷領域が形成され、破壊に至ることを確認し た。直径200mm以下の供試体では、供試体数の少なさ もあり、明確な破壊起点を見出すことはできなかった。 したがって、寸法依存性の確認および寸法ごとの破壊過 程を把握するためには、多くの供試体から詳細な考察を 行う必要がある。

本研究では、コンクリートの割裂引張強度試験に使用 する供試体寸法が強度および破壊過程に与える影響につ いて詳細に考察した。

2. 実験概要

実験に使用したコンクリートの使用材料,計画配合お よび力学的特性を表-1および表-2に示す。細骨材には, 細骨材粗目と細目を質量比で9:1とした混合細骨材を使 用した。なお,表-2中の割裂引張強度は,各試験の物 性値を示しており,載荷速度をJIS規格とし,破壊過程 評価とは別に用意した直径 150mmの円柱供試体におけ る3体の平均値を示している。また,供試体形状とひず みゲージ貼付位置およびAEセンサ設置位置を表-3,表 -4 および図-1に示す。供試体寸法は、 ϕ 100×200mm (以下, ϕ 100), ϕ 150×200mm(以下, ϕ 150)の円柱供 試体であり,各直径につき20体ずつ,計40体の供試体 を作製した。供試体は、コンクリート打設後,材齢1日 目に脱型を行い,材齢14日まで20℃の水中養生を行っ た後,14日間20℃,60%R.H.の恒温恒湿室にて気中保管

表-4 各円柱供試体の AE センサ設置座標



図-1 供試体寸法とひずみゲージおよび AE センサ配置

を行った。割裂引張強度試験は、材齢28日目から3日間 で行った。なお、いずれの円柱供試体の割裂引張強度試 験も、JISA1113「コンクリートの割裂引張強度試験方法」 に準じて実施した。試験機には、容量 2000kN の耐圧試 験機を使用し、自動載荷にて行った。載荷速度は、JIS 規格による載荷速度 0.06N/mm²(以下, JIS 速度) にて, 各直径につき 10 体載荷を行ったほか, AE 計測でより多 くの AE 信号を取得するとともに、断面内のひずみを詳 細に把握するため、引張応力度の増加率を JIS 速度の 1/100 となる毎秒 0.06×10⁻²N/mm²(以下,JIS×1/100 速 度)として,各直径につき10体の供試体に載荷を行った。 また、荷重およびひずみの計測を、データロガーにて毎 秒行った。ひずみの計測には、ゲージ長 30mm のひずみ ゲージを使用し、図-1のように載荷方向と直交するよ うそれぞれ貼付した。なお、供試体高さ方向の上下端に おいて、供試体と載荷治具との摩擦で発生する AE 信号 を抑制するため、供試体と治具との間2箇所にテフロン シート(厚さ0.3mm)を挿入した。

AE 計測は, 共振周波数 150kHz の AE センサにて周波 数帯域を 1kHz~400kHz として信号記録を行った。検出 信号はプリアンプにて 40dB 増幅後, 記録し, 設定しき い値は, 35dB として計測した。AE 波形はサンプリング 周波数 1MHz で A/D 変換し, 1 波形を 1024 個の振幅値



データとして記録した。

3. 結果および考察

3.1 割裂引張強度の比較

図-2 に JIS×1/100 速度の割裂引張強度を示す。 ¢100 の割裂引張強度に対する ¢150 の割裂引張強度は, 24.8% 低くなった。本実験結果は, 長谷川ら ²⁾や赤萩ら ³⁾が示 す, 供試体直径の増加に伴い強度が低くなる, 寸法依存 性と整合している。また, 変動係数は, ¢150 の割裂引張 強度の方が小さく, ばらつきが小さいことがわかる。

次に、 ¢100および¢150における割裂引張強度の関係を 図-3 に示す。載荷速度について整理した結果、いずれ の載荷速度においても¢100 の割裂引張強度の方が¢150 の割裂引張強度より高くなった。変動係数は、JIS 速度 では¢100 の供試体にて 7.84%に対し、¢150 の供試体にて 5.47%となった。JIS×1/100 速度の結果と併せて、載荷速 度が遅くなるほど、強度のばらつきが大きくなり、¢150 の供試体の方がばらつきは小さい。

3.2 断面内のひずみ分布

図-4に、JIS×1/100速度における¢100および¢150の 断面内の応力ひずみ関係図を示す。図の縦軸は、荷重を 式(2)に代入して応力を算出し、最大応力を100%とし たときの応力レベル、横軸は、ひずみの大きさを表して おり、供試体高さごとの応力比ーひずみ曲線を示してい る。なお、図のキャプションは、「供試体直径-供試体番 号」を表している。図より、供試体内のひずみ分布は断 面内高さ方向で対称性を示さず、供試体上部から下部に 向かって増加および減少する統一的な傾向は確認されず, 高さ方向でひずみの不均一性を生じていることがわかる。 また、1 および 7CH のひずみは他の位置より小さい値と なっていることがわかる。ここで、断面内のひずみの大 きさに注目し、ひずみが大きい CH から順番をつけるこ ととした。図-4 からわかるように、応力レベル 80%以 上では、ひずみ分布が不均一性を増し、供試体内部の破 壊が速やかに生じることがわかる。そこで、本研究では、 破壊プロセスをひび割れの発生、進展および終局の3つ のステージに分け、初期ひび割れが主に発生していると 考えられる応力レベル 80%時点でのひずみの順序を整理 することとした。

表-5 および表-6に、全供試体のひずみ分布における ひずみの大きさを順序付けした結果を示す。なお、表中 に同じひずみ順序を示した供試体があるが、これは、ひ ずみの大きさが±5µ以内では、ひずみ順序を同一のもの として示した。表中の「-」印は、ひずみが適切に得られ なかったため、検討の対象外としている。また、表中の 右端欄に、ひずみが大きい上位2つの個数を示している。

 ∮100 の供試体では、載荷速度に関わらず 6CH のひず みが最も大きい傾向にある。2 番目に大きいひずみ位置 も考慮すると、JIS 速度では、5、6 および 7CH の供試体 下部で大きなひずみを示すことがわかる。JIS×1/100 速 度では、2 および 6CH で大きなひずみを示している。一 方、 ∮150 の供試体では、載荷速度に関わらず、1 および 7CH のひずみが他の位置より大きいことがわかり、供試 体断面の端部のひずみが大きい。

		- M 0	<i>φ</i> 100	· DAMANAL						/ • / //02/13		
供詞	代体番号	100-1	100-2	100-3	100-4	100-5	100-6	100-7	100-8	100-9	100-10	1,2の数
	1CH	6	6	4	3	1	5	6	6	7	3	1
	2CH	5	5	2	2	5		4	4	6	4	2
пс	3CH	4	3	3	1	7	2	$-\frac{4}{5}$ $+\frac{4}{5}$ $-\frac{5}{5}$ $+\frac{5}{6}$ $-\frac{2}{2}$	2			
津座	4CH	3	2	3	1	6	1	5	5	4	6	3
速度	5CH	2	2	5	1	3	2	2	4	3	2	6
	6CH		1	1	1	2	3	1	2	2	1	8
	7CH	1	4	4	4	4	4	2	1	1	7	4
供詞	代体番号	100-1	100-2	100-3	100-4	100-5	100-6	100-7	100-8	100-9	100-10	1,2の数
	1CH	7	6	6	1	4	3	4	5	3	7	1
	2CH	2	5	5	2	1	2	2	2	2	4	7
1/100	3CH	4	5	5	-	1	4	4	4	2	6	2
1/100	4CH	5	4	4		1	5	2	5	1	5	3
迷皮	5CH	3	3	2	4	3	4	2	2		1	4
	6CH	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	9
	7CH	6	1	3	5	2	2	3	3	3	3	3

表-5 ϕ 100の供試体における応力レベル80%での断面内のひずみ順序

表-6 ϕ 150の供試体における応力レベル80%での断面内のひずみ順序

供詞	式体番号	150-1	150-2	150-3	150-4	150-5	150-6	150-7	150-8	150-9	150-10	1,2の数
	1CH	2	5	2	3	2	2	3	1	2	6	6
	2CH	3	6	3	4	4	4	3	4	4	4	0
IIC	3CH	5	6	5	7	5	6	4	6	5	4	0
JIS	4CH	4	4	4	6	7	5	5	6	7	3	0
还度	5CH	6	3	7	5	6	1	4	5	6	2	2
	6CH	7	2	6	2	3	3	2	3	3	1	4
	7CH	1	1	1	1	1	4	1	2	1	5	8
供詞	式体番号	150-1	150-2	150-3	150-4	150-5	150-6	150-7	150-8	150-9	150-10	1,2の数
	1CH	7	1	1	1	1	1	5	1	1	2	8
	2CH	6	2	3	2	2	4	4	3	4	3	3
1/100	3CH	5	7	4	6	3	6	1	6		5	1
1/100	4CH	4	6	5	7	2	7	2	5	6	6	2
述皮	5CH	3	4	6	3	4	5	5	4	5	6	0
	6CH	2	5	4	4	5	3	3	2	3	4	2
	704	1	3	2	5	6	2	6		2	1	5





3.3 AE 計測結果

(1) SiGMA 解析結果

供試体内部の破壊過程を検討するため,実験で得られた AE 信号に対し,SiGMA (simplified Green's functions for moment tensor analysis)解析^{8),9)}を適用した。SiGMA 解析とは,弾性体内の AE イベント発生位置およびその形成モードを定量的に把握可能な解析手法である。ここで,検出された AE イベントを赤色の引張型,緑色の混合型および青色のせん断型の3種類にモードを分類した。 分類した AE イベントの発生状況について,図-5 に JIS



×1/100 速度における各直径の供試体における SiGMA 解 析結果の代表例を示す。図より,AE イベントが同定さ れている箇所は,割裂ひび割れが発生した載荷線上のみ でなく,断面内横方向にも広がっていることがわかる。 この AE イベントの分布領域は供試体個々によって異な るため,総合的な破壊過程の理解が必要となる。

(2) 断面内の AE イベント数の割合

供試体断面内の破壊過程を検討するにあたって,図-6 に示すように供試体断面内にて,ひずみゲージを貼付 した位置を含むように9個の領域に分割し,領域内で発 生した AE イベント数について検討した。図-5(a)に 示した¢100-3の供試体内で発生した AE イベント数の 時間的変化を図-7 に示す。図より,載荷初期から赤色





および緑色で示す領域1および2の位置でAEイベント が他の領域より多数発生しており、応力レベル95%程度 までその傾向が続くことが確認できる。しかし、応力レ ベルが100%から低下するときに、他の領域内のAEイベ ント数が急激に増加し、供試体は破壊に至ることがわか る。これは、応力レベル95%程度までは、粗骨材とモル タルの剥離に伴う微細ひび割れによるAE信号と推察さ れの、領域1および2の位置で剥離ひび割れ形成が活発 に生じていたと推察される。その後、応力レベルが100% に達した以降は、個々の剥離ひび割れがモルタル相を伝 搬し、主破壊へ繋がったと考えられる。このような供試 体の破壊挙動は、上田らの報告のと整合している。した がって、検出されるAE信号には、粗骨材とモルタル、 またはセメントペースト相との境界で生じる剥離ひび割 れに伴うものと、それらが伝搬し目視可能な大きなひび

れに伴りものと、それらか伝搬し日祝可能な入さないい 割れに繋がるものとの大きく2種類に分けられると考え られる。

本研究では、破壊過程のうち、ひび割れ進展の前段と

-+	# 世 古 庄	AEイベ	ひずみ分布		
可伝	戰何述及	多発し	と整合		
	ucae		1,2,3,7	_	
4100	川5座及	0.10116	5および6	0	
φ_{100}	UC > 1/100 法 庄	0,4,8575	1,3,5,7	—	
	川5×1/100速度		2および6	0	
	ucле	(_		
ø150	JIS速度			0	
,	JIS×1/100速度	1,2	1,2,6,7		

表-7 各寸法にて頻発した AE イベント発生領域

なる初期のひび割れ発生に焦点を置き,剥離ひび割れに 伴う AE イベントと考えられるものについて,領域内の AE イベント数の割合を調べた。なお,前述のひずみ分 布と合わせて考察を進めるため,ここでは,応力レベル が 80%以下までに発生した AE イベント数を対象とする。 図-8 に全供試体の各領域における AE イベント数の割 合を示し,表-7 に AE イベントが他の領域より多く発 生した領域を示す。図-8 および表-7 より,載荷速度の 違いによる破壊過程の差は, ¢100 の供試体では明確に認 められず, AE イベント数が多く検出された JIS×1/100 速度による破壊過程の評価も可能であると考えられる。

一方、 ¢150では異なる傾向を示す。また、供試体直径の 違いによる破壊形態は、 ø100 の供試体では、破壊初期は 粗骨材とセメントペースト相またはモルタル相との境界 で発生する剥離ひび割れであり、その位置は、供試体中 心を基準として±18.75mm~43.75mm(±0.188d~0.438d) 離れた領域である。一方、 Ø150 の JIS 速度供試体では、 ±65.63mm~端部(±0.438d~供試体端部)の領域から 初期損傷を生じている。供試体中心から±65.63mmの位 置は, 1CH および 7CH のひずみゲージにおける測定分 担域の最上下端である。なお、 ø100 の供試体で供試体端 部の損傷が認められないのは、載荷板の拘束が供試体内 部(ひずみゲージの1CH や7CH付近)まで及んだため, この位置でのひずみよりも中央部(2CH および 6CH)の ひずみが大きくなったと推察される。ここで、 *ø*150 の供 試体において、載荷板によって損傷したと考えられる領 域(±65.63mm~供試体端部)を除外し、ひずみゲージ の1CHから7CHにおける各測定分担域(18.75mm, 0.125d) の合計を d'(=131mm) として,式(2)の d に d'を代入す れば、1.15 倍の割裂引張強度となり、 Ø100 の割裂引張強 度に近似する結果となる。よって, 直径の違いが割裂引 張強度に及ぼす影響は、破壊初期の剥離ひび割れの発生 位置ならびに、載荷板による拘束の影響範囲に起因する と考えられ、さらに強度の変動係数にも影響を及ぼして いると考えられる。今後、これらの結果を基に、薄肉部 材の曲げ耐力算定法の精度向上を図ることが必要である。

4. 結論

本研究は、コンクリートの割裂引張強度試験における 寸法依存性について、直径 100mm および 150mm の円柱 供試体にて検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 載荷速度に関わらず,直径 100mmの供試体は直径 150mm より高い引張強度を示し、寸法依存性が確認された。強度の変動係数は、直径 100mm より 150mmの供試体の方が小さいことがわかり、JIS× 1/100の載荷速度では、変動係数が大きくなること が示された。
- (2) 応力レベル 80%までに断面内で発生したひずみの 大きさは、載荷速度に関わらず、直径 100mmの供 試体では供試体中心を基準として高さ方向に-0.25d の範囲で大きく、直径 150mmの供試体では、± 0.375dの位置で大きいことがわかり、供試体寸法に よって大きなひずみの発生位置が異なることがわ かった。
- (3) 応力レベル 80%までに発生した AE イベントについ て,供試体断面の高さ別に発生割合を検討した。そ の結果,直径 100mmの供試体では,粗骨材とモル タル相,またはセメントペースト相界面の剥離ひび

割れと考えられる AE イベントが多く, その主な発 生領域は,供試体中心を基準として,±0.188d~ 0.438d である。また,直径 150mm の供試体では± 0.438d~端部で損傷域が形成され,ひずみ分布との 整合性を考慮すると,この領域では載荷板の拘束の 影響範囲であると推察された。

(4) 直径 150mmの供試体において、載荷板により損傷 を受けた領域を除外した直径を割裂引張強度算定 式に適用したところ、直径 100mmの割裂引張強度 に近似する結果となった。

謝辞

本研究は,平成24年度科学研究費補助金(基盤(B), 課題番号22360173)によって実施した。

参考文献

- 宇治公隆,大野健太郎,中嶋彩乃,國府勝郎,清水 和久:薄肉鉄筋コンクリート部材の終局曲げ耐力評 価手法の提案,土木学会論文集 E2(材料・コンクリ ート構造), Vol.67, No.3, pp.361-373, 2011.
- 2) 長谷川俊昭,塩谷俊幸,岡田武二:コンクリートの 割裂引張強度に関する寸法効果,コンクリート工学 年次講演会論文集,pp.309-312,1985.
- 3) 赤萩満,阿部道彦:コンクリートの割裂引張強度に 及ぼす供試体寸法の影響,2007年度日本建築学会関 東支部研究報告集,pp.41-44,2007.
- 4) 大津政康,野崎渉太,川崎佑磨:AE-SiGMA 解析に よるコンクリート割裂破壊の考察,コンクリート工 学論文集,pp.27-33,2011.9
- 5) 川上泰司,魚本健人:AE 法による二次元破壊進展 位置標定を用いたコンクリート割裂試験の破壊挙 動に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.10, No.2, pp.385-390, 1988.
- 6) 上田稔,長谷川宣男,佐藤正俊,奥田宏明:コンク リートの割裂試験における破壊メカニズムの破壊 力学的研究,土木学会論文集, Vol.21, No.478, pp. 61-70, 1993.11
- 7) 川瀬麻人,大野健太郎,宇治公隆,上野敦:コンク リートの割裂引張強度試験における破壊過程に関 する考察,コンクリート工学年次論文集,Vol.34, No.1, pp.334-339, 2012.
- 大津政康,重石光弘,湯山茂徳,岡本享久:AE モ ーメントテンソル解析のための SiGMA コードの開 発,非破壊検査, Vol.42, No.10, pp570-575, 1993.
- 大野健太郎,下薗晋一郎,沢田陽介,大津政康:AE 波初動部の自動読み取りの開発によるSiGMA改良, 非破壊検査, Vol.57, No.11, pp.531-536, 2008.