

論文 鉄筋コンクリート不等辺L形断面耐震壁の二方向終局せん断耐力

溝口 光男^{*1}・荒井 康幸^{*2}・赤石 達彦^{*3}

要旨：L形断面を有する鉄筋コンクリート耐震壁の二方向終局せん断耐力に関し、前報¹⁾²⁾の等辺L字形から不等辺に壁断面を変化させてせん断破壊実験を行った。その結果、等辺および不等辺L形断面耐震壁のせん断耐力は、変形方向と各壁板とのなす角度が大きくなるほど低下し、この角度が45°に近くなると15%程度小さくなる傾向があるものの、二方向せん断耐力は単一平面壁の耐力によっておおむね評価でき、各壁に平行な方向の耐力は単一平面壁とほぼ同等になることを確認した。

キーワード：鉄筋コンクリート、耐震壁、不等辺、L形断面、二方向、せん断耐力

1. はじめに

建築構造物には、直交する二方向の耐震壁が連続して配置され、L形の平面形状となる場合が少なくない。従来の設計では、L形断面耐震壁は各方向ごとに分割され、面内方向のみの強度や剛性が評価されてきた。L形断面耐震壁は水平面上の二方向に広がりを持つものであるから、耐力や変形の評価に際しても二方向を考慮した検討が必要であるが、L形断面耐震壁の耐力と加力方向の関係を検討した研究は見当たらない。これに関して筆者らは前報¹⁾²⁾において、等辺L形断面耐震壁の水平加力実験を行って、加力方向とせん断耐力の関係について実験的に検討した。この結果によれば、等辺L形断面耐震壁の二方向耐力図はおおむね四辺形で表され、各壁に平行な方向の大きさは単一平面壁の耐力とほぼ同等になった。本研究では、壁断面を不等辺に変化させた実験を行って、不等辺L形断面耐震壁について検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の壁断面は、柱形のある不等辺のL字形であり、壁断面の図心上に鉛直力Nを加えるた

めに上部に加力用スラブを設けた。本実験に用いた試験体の形状、各部の名称および壁断面図

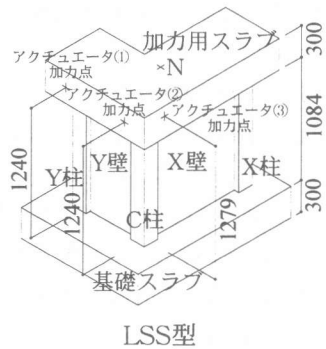


図-1 試験体形状 単位(mm)

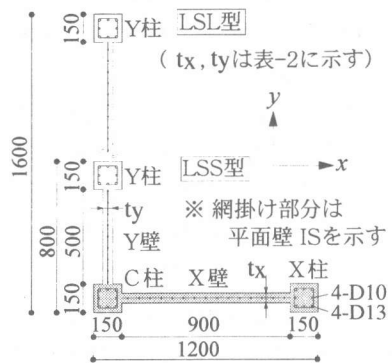


図-2 壁断面図 単位(mm)

* 1 室蘭工業大学助手 工学部建設システム工学科 工博 (正会員)
 * 2 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 工博 (正会員)
 * 3 室蘭工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻

を図-1と図-2に示す。試験体数は合計7体であり、Y壁がX壁より短いLSS型3体と、Y壁がX壁より長いLSL型3体、および比較のため作製したX壁と同一寸法の単一平面壁1体である。各試験体には、前報^{1),2)}で不明となっている制御方法の影響を検討するため、表-1のような荷重方向制御と変形方向制御による加力方向を設定した。試験体の設計は、Y壁が圧縮となるときの二方向曲げ耐力略算値³⁾に対するX壁のせん断耐力算定値⁴⁾の比が0.75程度となるように行った。壁と柱の寸法は、X壁の全長1200mm、壁厚52mm、柱断面150mm角を全試験体共通として、Y壁の全長をLSS型、LSL型でそれぞれ800mm、1600mmとした。配筋は全試験体共通で、壁には縦横とも4φのなまし鉄線を@60mmとした。柱には、主筋に4-D13,4-D10を使用し、せん断補強筋として4φ@30mmの角スパイラル筋を巻いた。コンクリートは全試験体とも豆砂利普通コンクリート(砂利の最大寸法10mm)を使用した。打設は鉛直打ちとし、基礎スラブと壁・加力用スラブの2回に分けて行った。鉄筋とコンクリートの性状は表-2、表-3に示す。

2.2 加力方法および計測方法

加力装置を図-3に示す。鉛直力は油圧回路にリリーフ弁を取り付けて、常に設定した圧縮力を維持できる油圧ジャッキにより壁断面の図心位置に加えた。二方向水平力は水平面上に配置した3台のアクチュエータによって加力用スラブに加えた。荷重方向制御の実験では、①号機で振れが生じないように制御しながら、②号機でx方向変位を与え、同時に①,②,③号機からx, y方向荷重を計測し、その合力の方向(荷重方向)が所定方向となるように、③号機の変位を制御することで加力用スラブに強制変形を与えた。また、変形方向制御の実験では、①号機で振れが生じないように制御しながら、変形方向が所定方向となるように、②,③号機で加力用スラブに強制変形を与えた。各試験体の加力は、x軸を基準としたそれぞれの制御方向に変位漸増

表-1 加力方向と試験体名

試験体形状	荷重方向制御	変形方向制御
LSS型		
LSL型		
平面壁		

表-2 鉄筋の力学的性状

鉄筋	断面積 (cm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)	備考
D13	1.267	357	519	28.1	柱主筋
D10	0.713	354	486	30.2	柱主筋
4φ	0.125	219*	337	40.2	壁筋, 柱補強筋

* 0.2%耐力

表-3 コンクリートの力学的性状

試験体名	壁厚 (mm)		圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数* (N/mm ²)
	tx	ty			
LSSF-X	54	52	21.5	2.25	-
LSSD-X	50	51	23.6	2.27	-
LSSD-V	50	50	19.8	1.69	17800
LSLF-X	52	59	20.7	1.95	18500
LSLD-X	54	58	21.9	1.57	20500
LSLF-V	53	56	24.8	2.20	20300
IS	51	-	26.3	1.98	22600

*: 1/3割線弾性係数

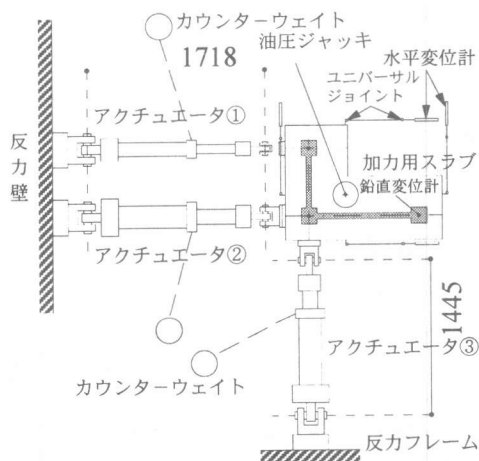


図-3 加力装置平面図 単位(mm)

繰り返しを行い、x方向の部材角(標点の水平変位/標点の高さ)が各サイクルピーク時で、1000分の1,2,4,6,10,15ラジアンとなるように強制変形を与えた。鉛直力はコンクリートの設計基準強度 23.5N/mm^2 で軸圧比0.1となるように、LSS型で330kN、LSL型で428kN、平面壁ISで216kNと設定した。変位の測定は、加力用スラブの4カ所の水平変位と、加力用スラブの柱位置の鉛直変位を基礎スラブを基準にして計測した。また、せん断変形を求めるために壁高を6分割して各区間の曲率を計測し、柱脚部で主筋のひずみ度をワイヤーストレインゲージで計測した。なお、以後の考察に用いる水平変位は、柱位置の鉛直変位を用いて標点の位置から、壁頂部位置(壁高さ1084mm)に補正してある。

3. ひび割れおよび破壊状況

実験終了時のひび割れ状況をX,Y両壁を展開して図-4に示す。X壁は全試験体とも正加力時にC柱付近で発生したひび割れと、負加力時にX柱付近で発生したひび割れが、それぞれ変形の増大に伴って約 45° の角度を保ちながら伸展し交差した。すべての試験体において壁中央部で斜めひび割れが拡大し、続いてコンクリートの剥落や圧壊などが見られ、終局に近づくにつれ激しい破壊状況を示してせん断破壊し、Y壁長さの違いによる差異は見られなかった。Y壁では制御方向ごとに異なる破壊状況が見られ、ひび割れ発生数はv方向加力、変形方向 0° 、荷重方向 0° の順に少なく、剥落などの破壊状況が見られたのはLSSD-Vだけであり、その他の試験体は終局時においてもY壁は健全であった。なお、全試験体とも最大耐力時までには柱主筋の降伏はみられなかった。

4. 荷重-変形曲線

L形断面耐震壁では、変形方向と荷重方向は一致しないので、制御方向(荷重方向制御の実験

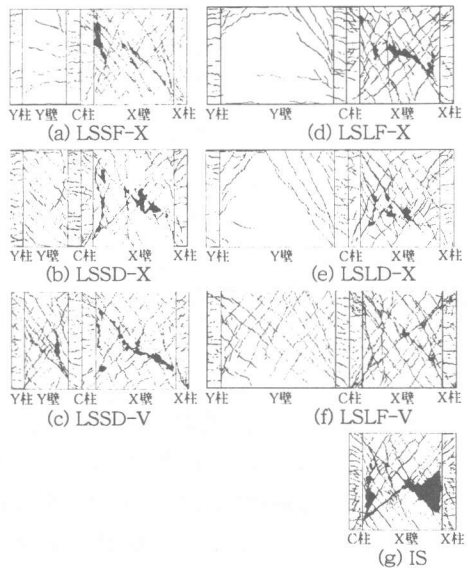


図-4 ひび割れおよび破壊状況

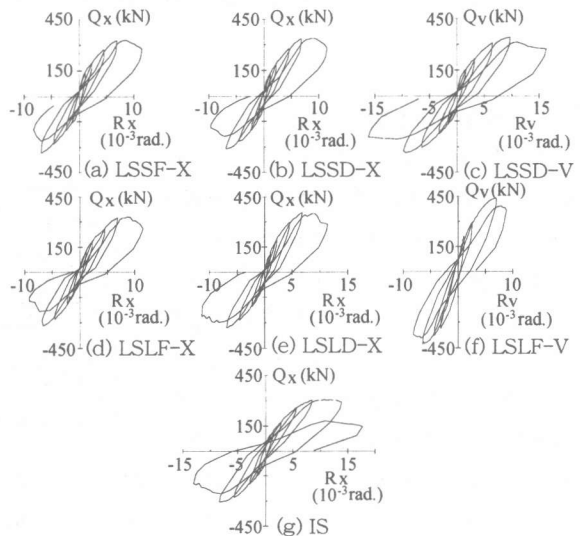


図-5 荷重-変形曲線

では荷重方向、変形方向制御の実験では変形方向)についての荷重-変形曲線を図-5に示す。すべての試験体でX壁がせん断破壊し、せん断変形が急激に増大するとともに荷重が低下したため、正負両加力時ともにせん断破壊型の曲線となっている。各試験体のx方向についての荷重 Q_x -変形 R_x 包絡線を図-6に示す。同図(a)はY壁の短いLSS型と平面壁ISを比較したものである。LSS型3体は正負加力時ともに最大耐力時までの

曲線形状に違いは見られないが、LSSD-Vの正加力時にはx方向加力の2体に比べ小さい変形のうちに最大耐力に達した。

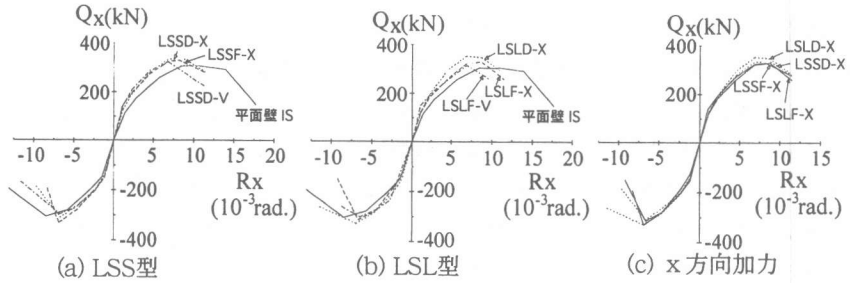


図-6 x方向荷重-変形包絡線

また同一形状

の平面壁と比較すると、負加力時はほぼ同様の曲線となっているがY壁が引張フランジとなる正加力時には異なる曲線となっている。同図(b)はY壁の長いLSL型であるが、LSS型と同様の傾向を示している。また、同図(c)に示すようにY壁長さの異なるLSS型、LSL型の包絡線に違いは見られなかった。

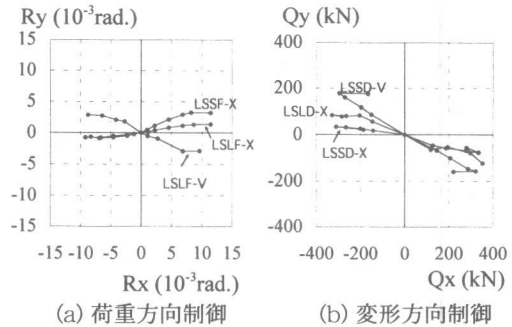


図-7 荷重方向と変形方向

5. 荷重方向と変形方向

荷重方向を定めた実験の、各サイクルピーク時の二方向部材角(R_x, R_y)を図-7(a)に示す。変形方向を定めた実験では、その荷重について同図(b)に同じく各サイクルピーク時の二方向荷重(Q_x, Q_y)を示す。荷重方向をx方向に定めたLSSF-X, LSLF-Xでは、正加力時にy方向荷重 Q_y を与えていないにも拘わらず、y方向変形 R_y が生じている。また、Y壁の短いLSSF-Xの方が R_y が大きくなっており、負加力時の R_y は両者ともに非常に小さい。変形方向をx方向に定めたLSSD-X, LSLD-Xでは、Y壁の長いLSLD-Xの方が Q_y が大きくなっている。

表-4 最大耐力

試験体名	正加力時				負加力時			
	Qx (kN)	Qy (kN)	Rx (10 ⁻³ rad.)	Ry (10 ⁻³ rad.)	Qx (kN)	Qy (kN)	Rx (10 ⁻³ rad.)	Ry (10 ⁻³ rad.)
LSSF-X	329	0	8.22	3.27	-331	0	-6.86	-0.87
LSSD-X	336	-77	8.68	-0.02	-310	34	-6.60	0.02
LSSD-V	323	-157	6.82	-6.90	-296	178	-6.70	6.56
LSLF-X	329	0	8.70	1.34	-316	0	-6.62	-0.80
LSLD-X	353	-123	6.84	0.00	-328	84	-6.89	0.02
LSLF-V	315	-307	6.89	-2.92	-304	300	-6.38	2.73
IS	307	-	10.67	-	-305	-	-8.39	-

6. 終局せん断耐力

6.1 二方向せん断耐力図の検討

各制御方向における最大耐力時のx, y方向荷重 Q_x, Q_y 、および変形 R_x, R_y を表-4に示す。表中の Q_x, Q_y は、せん断破壊時またはせん断破壊したサイクルの直前サイクルに得られた荷重最大値であり、せん断破壊が先行した加力時とは反対加

力時の値も示している。荷重-変形曲線の正負両加力時に差がなく、せん断破壊時の荷重と直前サイクルの最大荷重には大差がみられないことから、この値はせん断耐力に近似しているものと考え、ここではこの値もせん断耐力とみなした。表中の Q_x と Q_y の値を Q_x-Q_y 座標上に表した二方向せん断耐力図を図-8に示す。同図(a)はLSS型の実験値と、平面壁ISの耐力をy軸に平行な2本の直線を用いて示している。図によると、実験値は2本の直線付近にプロットされているが、荷重の正負(Y壁が圧縮フランジ、もしくは引張フランジとなる場合)や、荷重方向(x方向荷重 Q_x に対するy方向荷重 Q_y の大小)の違いによる

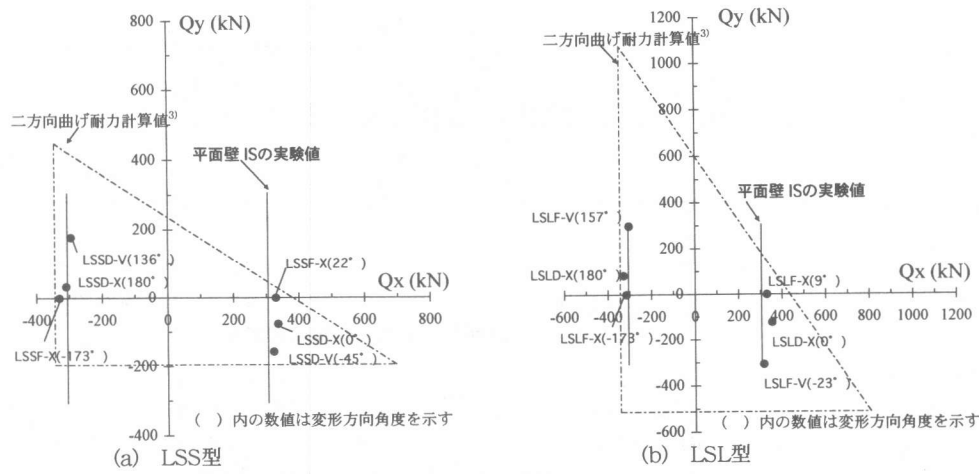


図-8 二方向せん断耐力図

差異が見られ、x軸から離れると Q_x が小さくなり、また負加力時より正加力時の耐力が大きい傾向が見られる。同図(b)に示すLSL型でもほぼ同様である。

6.2 x方向最大耐力の検討

前節のようにL形断面試験体では、せん断破壊したX壁に平行な方向(x方向)の最大耐力には、荷重方向の違いによる差異がみられたので、前報^{1),2)}の試験体を含めて、x方向耐力に及ぼす荷重方向の影響について検討する。x方向耐力と荷重方向との関係を図-9に示す。同図は前報^{1),2)}の試験体を含む形状の違うL形断面試験体(LSS型,LSL型,LS型¹⁾,LaS型²⁾,LbS型²⁾の5シリーズ)を比較するために、それぞれのせん断破壊した壁板と同一形状の平面壁の実験値によって無次元化した値(以後、耐力比と呼ぶ)を横軸にとり、縦軸には荷重方向角度(荷重方向とX壁とのなす角度)をとったものである。平面壁の実験値は、6.1節に述べたのと同様の理由から正負加力ともにせん断耐力とみなし両者の平均値を用いた。また、平面壁ISのコンクリート強度は他に比べて大きいものの、表-4のようにISの最大耐力が直交壁の影響が少ないと思われるLSSD-X, LSSF-X, LSLD-X, LSLF-Xの負加力時の Q_x より小さいことから、ここではコンクリート強度の影響は

少ないものとみなした。図-9によると、負加力時において平面壁の耐力より大きい値を示す試験体の荷重方向角度は、 $+22.5^\circ \sim -22.5^\circ$ と広範囲にわたる。同図中①に示す荷重方向をv方向に定めたLSLF-Vは直交壁が他の試験体に比べ長いいため、剛性が高く面外への変形が少ないので、実験値は平面壁に近い値をとっているものと思われる。また図中②に示すLSSD-Vは平面壁より耐力は低く、①のLSLF-Vよりも低い。これは変形方向が -45° と面外への変形が大きいためと考えられる。また、正加力時においても、LaS型²⁾を除くと各シリーズの中で最も大きい耐力を示した試験体の荷重方向角度は $-7^\circ \sim -21^\circ$ と広範囲にわたる。最大荷重を示す荷重方向角度が広範囲となっているので、変形方向角度(変形方向とX壁とのなす角度)との関係を同様に図-10に示した。同図の負加力時では、図-9の負加力時に示していた①が③の位置に、②が④の位置に移動することとなり、変形方向角度が正負に大きくなるほど耐力が低くなる傾向が明瞭に現れている。変形方向が 0° 付近にある試験体をグループAとし、 $\pm 45^\circ$ 方向へ大きく面外変形している試験体をグループBとすると、グループAは変形方向角度が $-8^\circ \sim 9^\circ$ の範囲内に分布し、耐力比は $0.99 \sim 1.08$ 、平均 1.04 となり、平面壁の耐力にほぼ等しい。グループBは変形方向角度が絶対

値で $39^{\circ} \sim 44^{\circ}$ の範囲内に分布し、耐力比は $0.84 \sim 0.97$ 、平均 0.91 となり、平面壁の耐力を下回り、 0° 付近に変形しているグループAに比べて耐力は約13%低くなっている。正加力時について、負加力時と同様なグループで比較すると、グループCは変形方向角度が $-8^{\circ} \sim 22^{\circ}$ に分布し、耐力

比は $0.97 \sim 1.29$ 、平均 1.13 となり、13%ほど平面壁の耐力を上回っている。変形方向が 45° 以上に面外変形しているグループDは、耐力比が $0.86 \sim 1.05$ 、平均 0.98 となり、変形方向が 0° 付近にあるグループCに比べて耐力は約15%低下している。

7. まとめ

L形断面耐震壁のせん断耐力について前報^{1),2)}の実験を含めて考察した結果、等辺および不等辺L形断面耐震壁の二方向せん断耐力は、せん断破壊した壁板と同一形状の平面壁の耐力によっておおむね評価できるが、面内方向へ変形し直交壁が引張フランジとなる場合は、同一形状の平面壁の耐力を上回ること。また、壁板の面内方向耐力は、荷重方向角度よりも変形方向角度に対する傾向が明瞭であり、変形方向角度が大きくなるほど低下し、変形方向角度が壁板に対し 45° に近くなると15%程度小さくなることが明らかになった。

謝辞

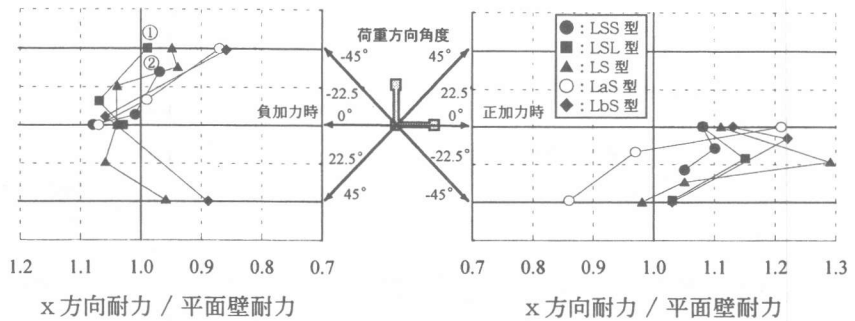


図-9 x方向耐力と荷重方向角度の関係

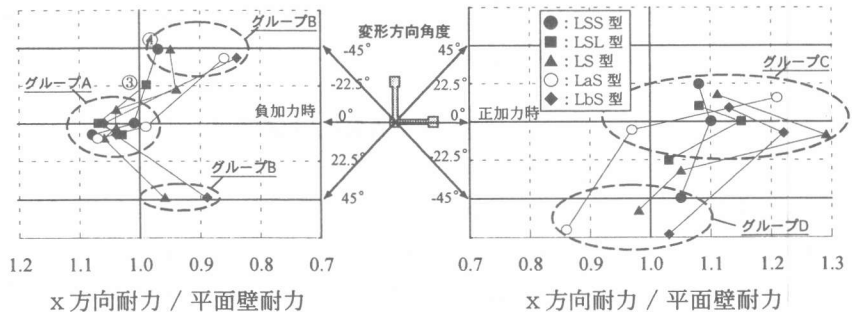


図-10 x方向耐力と変形方向角度の関係

本研究は平成9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(c);代表者 荒井康幸)により行った。

参考文献

- 1) 荒井康幸・溝口光男・新岡健司：二方向水平力と軸圧を受ける鉄筋コンクリートL形断面耐震壁のせん断破壊実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.1095-1100，1997.6
- 2) 溝口光男・荒井康幸・新岡健司・赤石達彦：鉄筋コンクリートL形断面耐震壁の二方向終局せん断耐力に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.3，pp.583-588，1998.7
- 3) 溝口光男・荒井康幸：二方向水平力を受ける鉄筋コンクリートL型開断面耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究(その2)二方向曲げ終局強度について，日本建築学会構造系論文集，第464号，pp.101-108，1994.10
- 4) 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)，pp.401-403，1990