

論文

[2031] 2段配筋を有する鉄筋コンクリート梁の付着性状

大屋戸理明*1・金久保利之*2・藤沢 正視*3・園部 泰寿*4

1. はじめに

現在, 1段配筋された鉄筋コンクリート部材の付着性状に関しては多くの研究が実施されており, 種々の付着割裂強度算定式が検討・提案されている. 2段配筋された部材の付着性状に関してもいくつかの実験的研究が行われており[1, 2, 3], 筆者らも片持ち梁形式の試験体による引抜き実験を行った[4]. しかしながらこれらの研究では, 相反する結果が得られている研究もみられ, 2段配筋された部材の付着性状は定性的に把握されるにも至っていない. 特に片持ち梁形式の付着実験では[2, 4] 加力方法に難点がみられ, 実際の部材中の応力状態とはかなり異なった状態で加力が行われているものも少なくない.

本研究ではこれらの結果を考慮し, 2段配筋された部材の付着性状を解明するために, 通常の梁部材に対して逆対称変形下での加力実験が行われた. しかし, 曲げせん断応力下では, 主筋の降伏が付着割裂破壊より先行すると付着応力は主筋の降伏強度で決定されると考えられる. したがって本研究の試験体は, 主筋に高強度の鉄筋を用い, 付着割裂破壊が主筋の降伏より先行するよう計画されている. また, 結果の検討は主に主筋のひずみ量から算出された平均付着応力度により行われている.

2. 実験概要

試験体は全9体で, 断面が幅(b)×せい(D)=22cm×33cmの長方形であり, 全試験体とも主筋は2段配筋されている. 試験体の配筋例および各試験体の断面を図-1に, 各試験体の諸元を表-1に示す. また断面内各主筋の呼称を図-2のように定義する. パラメータは主筋の本数および配列方法で, 1段目主筋と2段目主筋にそれぞれ6, 5, 4本ずつ配筋した試験体66, 55, 44(以下, 完全2段梁と称する), 2段目主筋を1段目主筋より意図的に多く配筋した

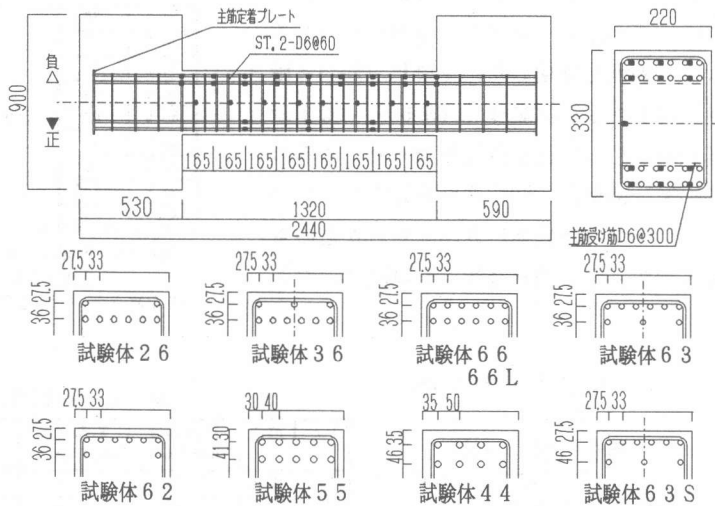


図-1 試験体の配筋例・断面図

*1 筑波大学大学院 理工学研究科理工学専攻 (正会員) *2 筑波大学大学院 工学研究科構造工学専攻, 工修 (正会員) *3 筑波技術短期大学助教授 建築工学科, 工修 (正会員) *4 筑波大学教授 構造工学系, 工博 (正会員)

試験体26, 36, および2段目主筋を1段目主筋より少なく配筋した試験体63, 62を計画した。また、試験体63の1段目主筋と2段目主筋のあきを大きくした試験体63S, 試験体66に軽量コンクリート1種を使用した試験体66Lが比較検討のために計画されている。

各試験体の主筋には、付着割裂破壊が主筋の降伏に先行するよう降伏強度が8000kgf/cm²級の高強度鉄筋D13およびD16を用いた。また、横補強筋にもせん断破壊を防止するため8000kgf/cm²級の高強度の溶接閉鎖型鉄筋D6を使用した。コンクリートおよび鉄筋の力学的性質を表-2に示す。コンクリートは図-2に示す方向から打設された。

加力には建研式加力装置を用い、正負繰返しの上対称変形加力を行った。加力履歴は、部材角RでR=±1/200, ±1/100, ±1/50, ±1/33rad.で各2サイクル, ±1/20rad.で1サイクルとし、その後正方向にR=+1/15rad.まで加力した。

計測は梁の入力せん断力, 上下スタブ間の水平変位および鉛直変位, 主筋の抜け出し量および図-1に示す位置(■)の鉄筋のひずみ度について行った。

3. 実験結果と検討

3.1 破壊経過

部材角1/33rad.加力終了時のひび割れ状況の例を図-3に示す。実線は正側(▼)加力時に、破線は負側(△)加力時に発生したひび割れを示す。全ての試験体は、曲げ、せん断ひび割れが順次発生した後、梁中央部主筋位置に細かい斜めひび割れが多く発生し、上端筋位置での付着割裂で破壊した。完全2段梁の試験体66, 55, 44, 66Lと、2段目主筋が1段目主筋より多い試験体26, 36では2段目主筋に沿って付着ひび割れが連なり、2段目主筋位置で付着割裂破壊したと考えられる。とくに2段目主筋が1段目主筋より多い試験体26, 36は、2段目主筋に沿ってかぶりコンクリートがえぐられるように剥離し破壊した。1段目主筋が2段目主筋より多い試験体62, 63, 63Sでは1段目主筋に沿って付着割裂破壊した。主筋の降伏は、部材角1/50程度から1/20rad.にかけて、1つの試験体に数本見られたものもあったが、全主筋が降伏した試験体はな

表-1 試験体の諸元

試験体番号	試験体記号	コンクリート		主筋		強度
		F _c (kgf/cm ²)	種類	配筋*1	pt (%)	
No. 1	26	360	普通	2/6-D13	1.89	8000 kgf/cm ² クラス
No. 2	36			3/6-D13	1.87	
No. 3	66			6/6-D13	2.43	
No. 4	63			6/3-D13	1.79	
No. 5	62			6/2-D13	1.57	
No. 6	55			5/5-D16	3.24	
No. 7	44			4/4-D16	2.66	
No. 8	63S			6/3-D13	1.81	
No. 9	66L			軽量	6/6-D13	

共通仕様：断面22×33(cm), 横補強筋2-D6@60(pw=0.48%)
M/QD=2.0

*1 配筋 X/Y ... X: 1段目主筋本数 Y: 2段目主筋本数

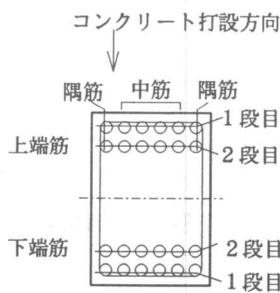


図-2 断面内各主筋の呼称

表-2 材料の力学的性質

F _c	種類	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)	備考	試験体
360	普通	321	25.1	2.35x10 ⁵	42日強度	No. 1~8
	軽量	373	27.4	1.82x10 ⁵	4週強度	No. 9
呼び名	鉄筋	種類	0.2%耐力 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	試験体
D13	主筋	8000	8070	1.90x10 ⁶	10140	No. 1~5, 8, 9
D16		kgf/cm ²	8290	2.03x10 ⁶	10280	No. 6, 7
D6	横補強筋	クラス	8010	1.91x10 ⁶	9680	No. 1~9

った。特に、2段目主筋位置で割裂の起こった試験体の2段目主筋には降伏は見られなかった。

3.2 最大荷重

各試験体の実験結果一覧を表-3に、荷重変形曲線の例を図-4に示す。全試験体とも荷重変形曲線は付着割裂のため、逆S字型の貧弱なループとなった。完全2段梁の試験体66, 55, 44, 66Lは、最大荷重値と曲げ強度計算値の比が小さい。また、割裂線の長さに対して条件が等しく2段目主筋位置で破壊した試験体26, 36, 66の最大荷重は、主筋の本数にかかわらずほぼ26tonf程度である。なお、軽量コンクリート試験体66Lの最大荷重は、普通コンクリート試験体66の92%である。

4. 付着応力度の検討

4.1 2段目主筋の付着割裂強度

各主筋の付着応力度は、測定されたひずみ値に弾性係数を乗じ応力度を求め、隣あったゲージの応力の差から求めた。また、降伏の見られた主筋については、Ramberg-Osgood Modelにより応力度を求めた。各主筋の付着応力度 $e\tau_{ave}$ は、梁端部から1D(Dは梁せい)の区間は曲げおよびせん断ひび割れが多く発生するため除外し、付着割裂破壊が顕著な梁中央部2Dの区間の付着応力度の平均とした。

(1) 主筋の付着応力遷移曲線

図-5に2段目主筋の付着応力遷移曲線の例を、横軸に加力ステップを、縦軸に付着応力を取り、せん断力Qの遷移曲線とあわせて示す。図中に、断面図に示した割裂線にて、

表-3 実験結果一覧

試験体名		最大荷重 (tonf)		破壊形式 *2
番号	記号	eQ_{max} (正側)	$\frac{eQ_{max}}{cQ_{mu} * 1}$	
No. 1	26	26.4	0.86	B02
No. 2	36	25.9	0.74	B02
No. 3	66	26.4	0.55	B02
No. 4	63	29.2	0.80	B01
No. 5	62	27.5	0.84	B01
No. 6	55	26.5	0.42	B02
No. 7	44	28.8	0.59	B02
No. 8	63S	31.3	0.87	B01
No. 9	66L	24.3	0.51	B02

*1 cQ_{mu} は曲げ強度
 $cQ_{mu} = 0.9 \sum (at \cdot \sigma_y \cdot d) / (L/2)$

*2 破壊形式

B01: 1段目主筋にそった付着破壊
 B02: 2段目主筋にそった付着破壊

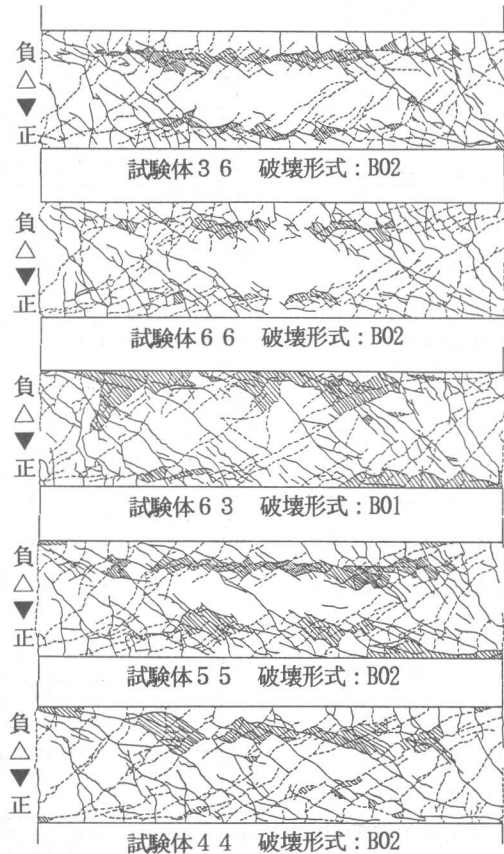


図-3 1/33加力終了時のひび割れ状況例

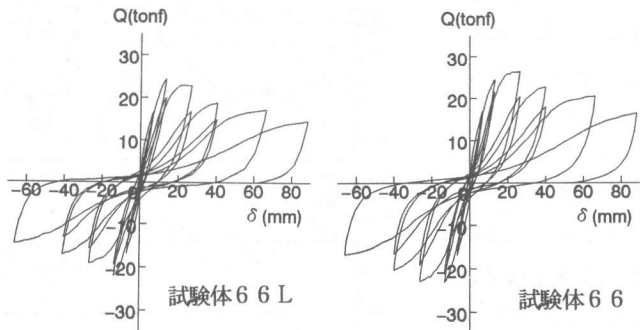


図-4 荷重変形曲線の例

終局強度型耐震設計指針[5]（以下指針と略記）によるコンクリート負担分の付着割裂強度計算値（以下 $c\tau co$ と略記）を破線で示す。2段目中筋の場合、完全2段梁の試験体66の付着応力最大値(▼)は $c\tau co$ の1/2程度である。しかし、1段目主筋本数が2段目主筋より少ない試験体26および1段目主筋本数が2段目主筋より多い試験体63では、2段目主筋の付着応力最大値が $c\tau co$ に達している。このことより、完全2段梁を除けば2段目中筋の付着強度は $c\tau co$ 近くまで増加し得ることがわかる。

1段目主筋の付着応力遷移曲線の例を、図-5と同様に図-6に示す。1段目主筋本数が2段目主筋より多い試験体63の1段目の隅筋は付着応力最大値が $c\tau co$ を大きく越えており、横補強筋による付着強度の増加分が確認できる。それに対し同じ試験体63の1段目中筋は、

付着応力の最大値は $c\tau co$ 程度にとどまっております、横補強筋による付着強度の増加分はあまり確認できない。

1段目主筋本数が2段目主筋より少ない試験体36の1段目隅筋では、2段目主筋が付着割裂破壊したために、付着応力の最大値は1段目主筋で割裂線を想定したときの $c\tau co$ よりやや小さな値となっているが、最終加力時の終わりまで明白な付着応力の低下は見られない。また、1段目主筋と2段目主筋のあ

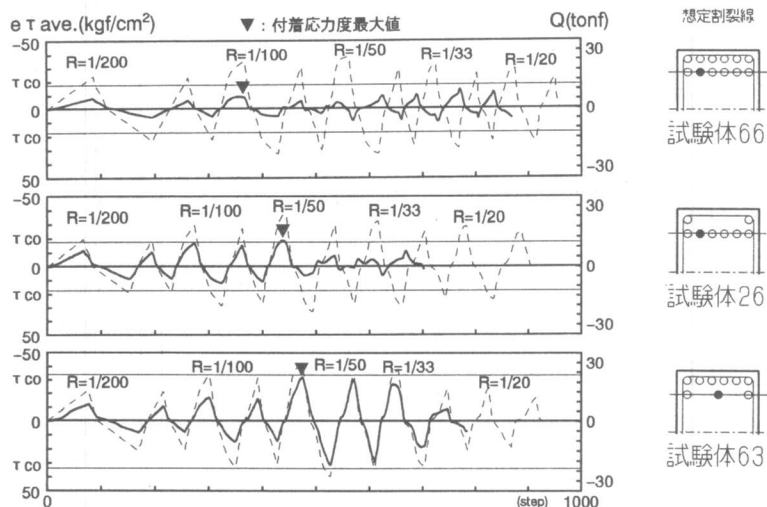


図-5 2段目主筋の付着応力遷移曲線

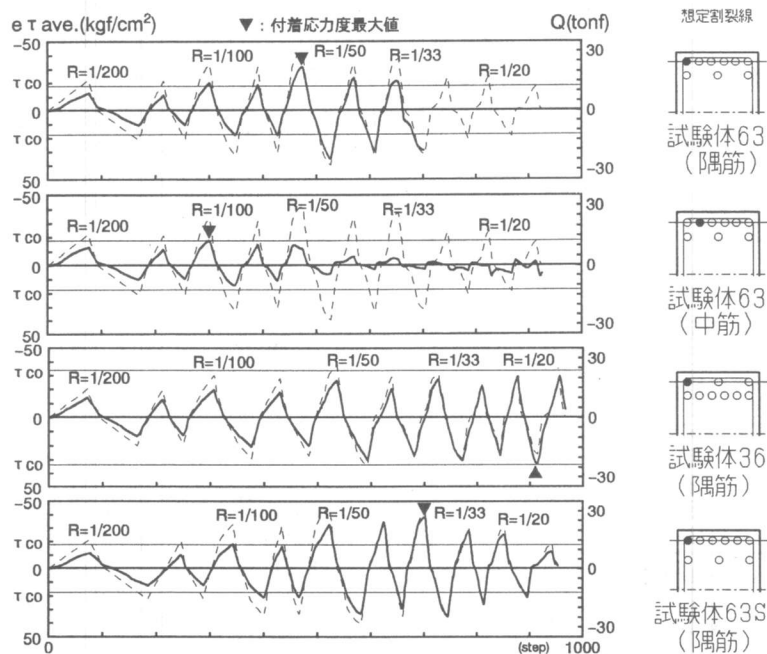


図-6 1段目主筋の付着応力遷移曲線

きの異なる試験体63と試験体63Sを1段目隅筋で比較すると、あきの小さい試験体63の方が付着応力最大値がやや小さく、1段目と2段目のあきを大きくすることによる優位性が見られる。

(2) 最大付着応力と計算値の関係

指針による、全割裂と想定した場合の主筋1本あたりの割裂線長さ(以下、 b_i と略記)と、付着応力の最大値 $e\tau_{ave,max}$ をコンクリート強度の平方根で基準化した値($e\tau_{ave,max}/\sqrt{\sigma_B}$)の関係を図-7に示す。上図は1段目主筋を、下図は2段目主筋を示し、それぞれ○は完全2段梁の主筋を、□は1段目の本数が2段目より多い試験体の主筋を、△は1段目の本数が2段目より少ない試験体の主筋を示す。また付着割裂破壊した段の主筋を黒塗りで示し、直線は指針式の上端筋の $c\tau_{co}$ の算定式を示す。

1段目主筋では、実験値は計算値を示す直線をはさんで分布しており、特に1段目で割裂した試験体の多くの主筋が $c\tau_{co}$ を越えている。したがって1段目主筋の付着強度については横補強筋による強度増加分が確認される。2段目主筋では、完全2段梁のほとんどの実験値が計算値の約1/2にとどまっている。また1段目主筋より2段目主筋が多い試験体の実験値は計算値を示す直線の近くに位置している。このことより、2段目主筋の付着強度は $c\tau_{co}$ 分の能力を持っていることがうかがえる。

また、2段目主筋の付着強度を算定するには、1段配筋の場合とは異なり、特に付着強度の低かった完全2段梁に対応して、1段目主筋の存在を考慮にいれたパラメータを

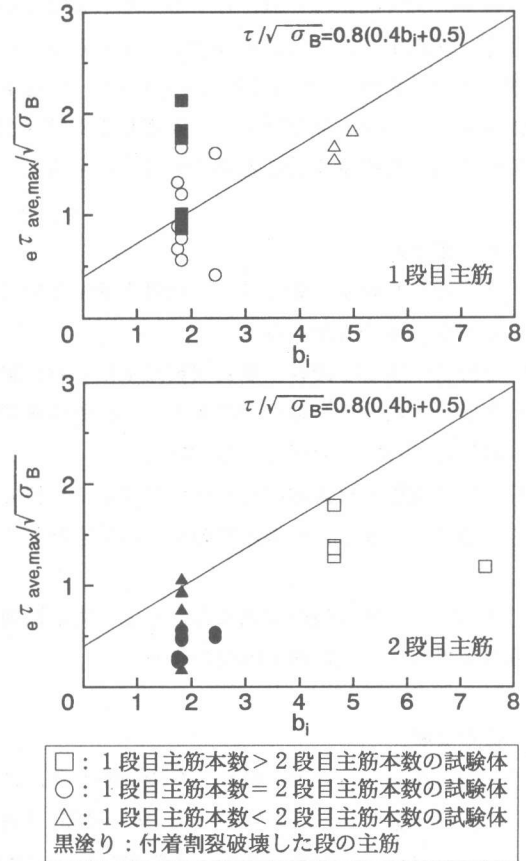


図-7 b_i 値と付着応力最大値の関係

表-4 既往の実験の概要

実験者	文献番号	加力	試験体数	断面 bxD (cm)	σ_B *1	主筋配筋 *2	ρ_w (%)	$c\tau_{co,1}$ + $c\tau_{st}$ *3	$c\tau_{co,2}$ *4	割裂段	
松原ほか	[1]	単調荷重	2	20 x 40	376	3/3-D23	0.41	24.1	19.5	2段目	
			1			3/3-D23/D19			23.3		
			1			3/2-D23			55.5	1段目	
古川ほか	[3]	繰り返し	1	18 x 28	830	4/4-D13	0.62	49.0	34.2	2段目	
筆者ほか	[6]	繰り返し	2	17.5x27	235	4/3-D13	0.61	25.2	23.2	2段目	
金久保ほか	[7]	繰り返し	1	17.5x27	380	6/2-D10	0.56	47.9	56.1	1段目	
中沢ほか	[8]	繰り返し	7	20 x 40	315	3/2-D19	0.40	20	23.8	31.3	1段目
								40	26.3		
								60	28.8		
								230	22.4	26.7	
315	3/2-D22	0.40	22.9	27.2	1段目						
315	3/2-D19	0.40	26.3	31.3							

*1 σ_B : コンクリート圧縮強度(kgf/cm²)
 *2 主筋配筋 M/N-Dxxx/Dyy: 1段目M-Dxxx, 2段目N-Dyy
 *3 指針式による1段目主筋の付着割裂強度(kgf/cm²)
 *4 指針式による2段目主筋のコンクリート負担分の付着割裂強度(kgf/cm²)

導入した付着強度の評価が必要であると考えられる。

4. 2 既往の研究に関する破壊モードの検討

表-4に、既往の2段配筋を有する梁の実験研究のうち付着破壊したと報告された試験体について、実験および結果の概要を示す。表-4には、1段目主筋位置で算定した指針式の計算値（以下、 $c\tau_{co,1}+c\tau_{st}$ と称する）と、2段目主筋位置で算定したコンクリート負担分の指針式計算値（以下、 $c\tau_{co,2}$ と称する）をあわせて示す。表-4によると、2段目主筋位置で付着破壊した梁はすべて $c\tau_{co,2}$ が $c\tau_{co,1}+c\tau_{st}$ を下回っている。このことから、2段目主筋の付着強度を概ね $c\tau_{co}$ 分だけあると仮定して1段目主筋の付着強度と比較することにより、付着破壊の生じる段を推定することができるといえる。

5. まとめ

- 1) 2段配筋を有する梁では、1段目主筋位置で付着割裂破壊する場合と2段目主筋位置で付着割裂破壊する場合がある。
- 2) 2段目主筋が1段目主筋と同数以上配された梁では、付着割裂破壊は2段目主筋位置で起こる。
- 3) 2段目主筋の付着強度は最大で $c\tau_{co}$ 程度まで保ち得るが、完全2段梁の場合などでは $c\tau_{co}$ の1/2程度までしか保持できない。
- 4) 2段目主筋の付着強度を $c\tau_{co}$ 程度まで保持できると仮定して、1段目主筋の付着強度と比較することにより、付着破壊の生じる段を推定できる。

〔謝辞〕 本実験の実施にあたって、東京鉄鋼(株)、日本メサライト工業(株)、日本セメント(株)の協力を得た。ここに深く感謝します。

参考文献

- [1] 松原洋志, 狩野芳一ほか: 2段配筋されたRC梁の付着割裂破壊, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 2, pp. 151~156, 1991. 6
- [2] 川村厚司, 狩野芳一ほか: 主筋の配列と横補強筋の拘束効果が主筋の付着性状に及ぼす影響 その4: 実験結果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, pp. 937~938, 1992. 9
- [3] 古川 淳, 藤沢正視ほか: 高強度鉄筋コンクリート梁の付着割裂破壊, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 2, pp. 547~552, 1992. 6
- [4] 岩倉知行, 大屋戸理明ほか: 2段配筋を有する鉄筋コンクリート部材の付着割裂強度(その1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, pp. 349~352, 1991. 9
- [5] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 1990. 11
- [6] 大屋戸理明, 金久保利之ほか: 高強度電炉鉄筋の開発に関する研究 その6: 梁の靱性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, pp. 505~506, 1992. 10
- [7] 折原信吾, 金久保利之ほか: 高強度人工軽量骨材コンクリートを用いた構造部材の耐震性能に関する研究 多段配筋を有するT形ばりの靱性-その2-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C構造II, pp. 407~408, 1989. 10
- [8] 中沢 淳, 南 宏一ほか: 繰り返し曲げせん断を受ける13000 キロ級の高強度せん断補強筋を用いたRC梁のせん断および付着割裂破壊性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 12, No. 2, pp. 221~226, 1990. 6