

論文

[2017] 一断面に重ね継手を集中させた梁の破壊性状

正会員○高木 淳 (JR東日本東京工事事務所)

正会員 古谷時春 (同 上)

正会員 石橋忠良 (同 上)

1. はじめに

RC構造物のプレキャスト化は工事の省力化に大きく寄与するが、その効果を最大限に活かすためには、プレキャスト部品の現場における接合幅をできるだけ少なくし、かつ施工が容易でなければならない。その場合、重ね継手方式は、溶接継手や機械式継手等よりも現場での複雑な施工を必要とせず、品質管理が容易であるなど有利な点が多いが、その力学上の特性は複雑で、影響を与える因子は多岐にわたる。従って、国内における重ね継手強度に関する研究も数多く行なわれているが、継手強度を定量的に評価する式の導出までは至っていないようである[1]。

一方、土木学会コンクリート標準示方書に、Orangunら[2]の実験式を基にした以下のような重ね継手強度に関する実験式が解説式として掲載されている[3]。

$$\sigma_{ss} = 4 \cdot \sqrt{\sigma'_{ok}} \cdot \left[\frac{l_s}{\phi} \cdot (0.318 + 0.795 \cdot \left(\frac{C}{\phi} + \frac{15 \cdot A_t}{s \cdot \phi} \right)) + 13.3 \right] \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 σ_{ss} :鉄筋の重ね継手強度(kg/cm²) σ'_{ok} :コンクリートの圧縮強度(kg/cm²)
 l_s :鉄筋の重ね継手長(cm) ϕ :主鉄筋径(cm)
 C :主鉄筋のかぶり又は最小鉄筋間隔/2の小さい方(cm)
 A_t :横方向補強筋の換算断面積(cm²) s :横方向補強筋ピッチ(cm)

式(1)の基となったOrangunらの式は、過去の、一断面に重ね継手を集中させた供試体の曲げ載荷試験例より62体の結果を抽出し、非線形回帰分析によって導出された式であり、以下の4つの因子を内生化している。

- ①重ね継手長 l_s ②コンクリート圧縮強度 σ'_{ok}
- ③主鉄筋のかぶり又は最小鉄筋純間隔/2の小さい方 ④横方向補強筋量

なお、③は図-1に示す値をとる。

2. 研究の目的

重ね継手強度に影響を及ぼす因子としては上記のほかにも継手の集中度等も考えられている[1]が、プレキャスト部品の現場接合を想定すると、継手は一断面に集中し、継手部の両端に打継目を有する形となる。

そこで、本研究の目的は、重ね継手を一断面に集中させた供試体において、上記4つの因子及び打継目の目開きが重ね継手強度にどの程度の影響を及ぼすのかを定量的に評価することにある。

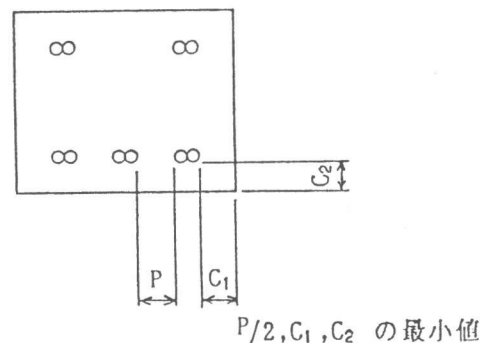


図-1 : Cのとりかた

3. 試験概要

3-1. 供試体概要

供試体の基本的な形状を図-2に示す。図中の斜線部分は、両側の先打コンクリート部から出しておいた直筋を重ね継手とし、膨張コンクリートにより後打ちした部分である。なお、先打部と後打部の打継目は遅延剤と高圧水処理により目荒しを施している。この供試体に対し図に示すように後打コンクリート部の外側で2点荷重による純曲げ試験を実施し、耐力、鉄筋ひずみ等の破壊性状を調べた。横方向補強筋を配する供試体では、補強筋を図に示すとおり、主鉄筋をコの字に囲む形で配置する。なお、主鉄筋、横方向補強筋ともJIS G3112 SD295を使用している。

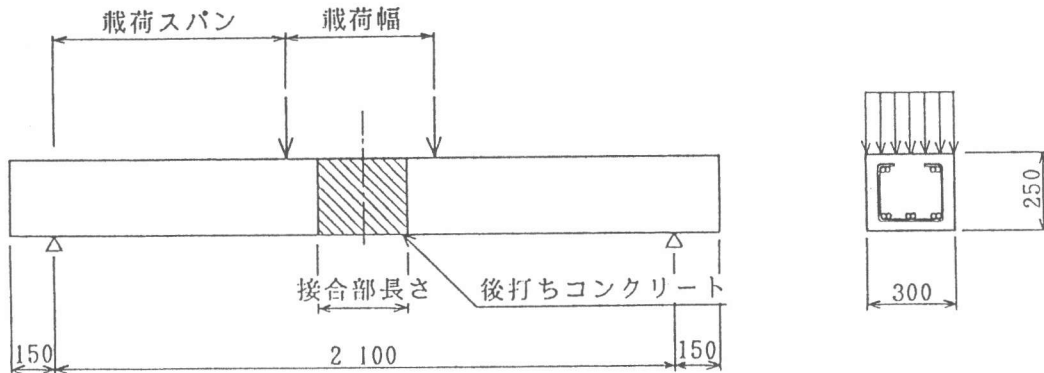


図-2：供試体一般形状

3-2. 供試体数及び種類

重ね継手強度に影響を及ぼす4つの因子を個別に評価するため、表-1に示す20体の供試体を用意した。供試体番号1-7は、重ね継手長の影響のみを調べるシリーズであり、以下同様に3, 8, 9はコンクリート圧縮強度の影響、10-15はC/φ(式(1)脚注及び図-1参照)の影響、16-20は横方向補強筋の影響を見るためのシリーズである。

表-1：供試体一覧(σ_{ck}の単位は(kg/cm²))

番号	供試体種類	重ね合せ長 l _s (mm)	接合長 (mm)	載荷幅 (mm)	載荷スパン (mm)	コンクリート 圧縮強度 σ _{ck}	C / φ	横方向 補強筋量 15・At/s・φ
1	378-5(16*3)-0-0	80	200	400	850	378.0	1.75	
2	378-7(16*3)-0-0	112	250	450	825	378.0	1.75	
3	378-10(16*3)-0-0	160	300	500	800	378.0	1.75	
4	378-11(16*3)-0-0	176	350	550	775	378.0	1.75	
5	378-12(16*3)-0-0	192	350	550	775	378.0	1.75	
6	378-14(16*3)-0-0	224	400	600	750	378.0	1.75	
7	378-15(16*3)-0-0	240	400	600	750	378.0	1.75	
8	321-10(16*3)-0-0	160	300	500	800	321.0	1.75	
9	511-10(16*3)-0-0	160	300	500	800	511.0	1.75	
10	511-7(16*3)-0-0	112	250	450	825	511.0	1.75	
11	511-7(16*4)-0-0	112	250	450	825	511.0	0.81	
12	511-7(13*3)-0-0	91	200	400	850	511.0	2.46	
13	511-7(13*4)-0-0	91	200	400	850	511.0	1.23	
14	511-7(10*3)-0-0	70	200	400	850	511.0	3.60	
15	511-7(10*4)-0-0	70	200	400	850	511.0	2.00	
16	321-7(16*3)-13-75-2本	112	250	450	825	321.0	1.75	1.05
17	321-7(16*3)-10-75-2本	112	250	450	825	321.0	1.75	0.595
18	321-7(16*3)-10-50-3本	112	250	450	825	321.0	1.75	0.892
19	321-7(16*3)-6-75-2本	112	250	450	825	321.0	1.75	0.264
20	321-7(16*3)-6-50-3本	112	250	450	825	321.0	1.75	0.396

凡例：321-7(16*3)-6-75-2本：コンクリート圧縮強度σ_{ck}=321.0(kg/cm²)
 主鉄筋D16*3本、重ね継手長=7φ(7*16=112mm)
 横方向補強筋=D6-75mmt*φf(重ね継手内に補強筋2本配置)

4. 試験結果

表-2に、全供試体の試験結果を示す。表の破壊性状中、継手破壊と記しているのは、重ね継手部において鉄筋とコンクリートとの付着面に沿ってひび割れを生じて破壊する現象を、曲げ破壊とは、引張鉄筋の降伏後圧縮縁コンクリートが上部に盛り上がって破壊する現象を指す。また、目開きと記したのは、破壊時に打継面の目開きが拡大して破壊に至ったと思われる供試体で、この場合破壊時において、重ね継手部のひび割れはさほど進行しておらず、引張鉄筋のひずみも降伏点に達していない。このような破壊形態の場合、打継目の目開きの影響を無視できないため、他供試体とは区別して考察する必要がある。なお、鉄筋ひずみは、継手端部に2箇所張り付けたゲージの破壊時の値のうち大きい方を示している。ひずみゲージの取り付け位置を図-3に示す。その他の記号については表脚注の通り。

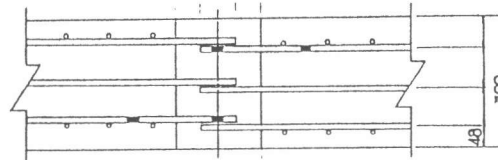


図-3：鉄筋ひずみゲージの位置

の目開きの影響を無視できないため、他供試体とは区別して考察する必要がある。なお、鉄筋ひずみは、継手端部に2箇所張り付けたゲージの破壊時の値のうち大きい方を示している。ひずみゲージの取り付け位置を図-3に示す。その他の記号については表脚注の通り。

表-2：曲げ試験結果一覧

番号	供試体種類	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
		Mur (t _m)	Kurd (t _m)	破壊 モード	鉄筋 ひずみ	鉄筋応力 (kg/cm ²)	継手強度 (kg/cm ²)	⑤ / ⑥
1	378-5(16*3)-0-0	2.34	3.68	継手破壊	360	756.0	1699.0	0.44
2	378-7(16*3)-0-0	3.14	3.68	継手破壊	948	1990.8	1965.0	1.01
3	378-10(16*3)-0-0	3.71	3.68	継手破壊	1146	2406.6	2363.0	1.02
4	378-11(16*3)-0-0	3.80	3.68	継手破壊	1513	3177.3	2496.0	1.27
5	378-12(16*3)-0-0	4.15	3.68	継手破壊	1605	3370.5	2629.0	1.28
6	378-14(16*3)-0-0	5.27	3.68	曲げ破壊	7639	*****	2895.0	****
7	378-15(16*3)-0-0	5.14	3.68	曲げ破壊	20284	*****	3028.0	****
8	321-10(16*3)-0-0	2.96	3.56	継手破壊	1092	2293.2	2178.0	1.05
9	511-10(16*3)-0-0	4.67	3.82	継手破壊	1431	3005.1	2748.0	1.09
10	511-7(16*3)-0-0	3.55	3.82	継手破壊	1214	2549.4	2285.0	1.12
11	511-7(16*4)-0-0	3.63	4.86	継手破壊	1095	2299.5	1812.0	1.27
12	511-7(13*3)-0-0	3.80	2.52	目開き	1495	3139.5	2642.0	1.19
13	511-7(13*4)-0-0	3.40	3.22	継手破壊	1471	3089.1	2023.0	1.53
14	511-7(10*3)-0-0	2.64	1.45	目開き	1485	3118.5	2662.0	1.17
15	511-7(10*4)-0-0	3.25	1.86	目開き	1557	3269.7	2410.0	1.36
16	321-7(16*3)-13-75-2本	2.40	3.56	継手破壊	696	1461.6	2229.0	0.66
17	321-7(16*3)-10-75-2本	2.48	3.56	継手破壊	720	1512.0	2048.0	0.74
18	321-7(16*3)-10-50-3本	2.87	3.56	継手破壊	841	1766.1	2166.0	0.82
19	321-7(16*3)-6-75-2本	2.23	3.56	継手破壊	569	1194.9	1916.0	0.62
20	321-7(16*3)-6-50-3本	2.62	3.56	継手破壊	786	1650.6	1969.0	0.84

ここに、①破壊時の継手部に作用する曲げモーメント（実測値）
 ②曲げ耐力の計算値
 ③重ね継手端部の鉄筋ひずみ（ $\times 10^{-6}$ ）
 ④その時の鉄筋に作用する応力（③ \times 鉄筋ヤング率（ 2.1×10^6 ））
 ⑤式(1)を用いて算出した重ね継手応力度
 なお、****は、鉄筋が既に降伏していることを示す。

5. 考察

5-1. 重ね継手端部の鉄筋応力度に対する各要因別の影響

(1) 接合部コンクリートの圧縮強度の影響

コンクリート強度 σ'_{ck} 以外を全て一定とすると、式(1)より継手強度 σ_{ss} は、

$$\sigma_{ss} = A \cdot \sigma'_{ck}{}^\alpha \quad (A \text{ は定数項、} \alpha \text{ はパラメータ}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

と表せるので、式(2)の両辺の自然対数を取ると傾き α の一次関数になる。

$$\ln(\sigma_{ss}) = \ln(A) + \alpha \cdot \ln(\sigma'_{ck}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

そこで、供試体 No.3,8,9及び、筆者らが昨年度行った同様の試験結果[4]のうち、重ね継手長 = 10φ、横方向補強筋、フック無しの供試体の接合部コンクリート圧縮強度と、破壊時の継手端部応力の自然対数の関係を図-4に示す。これより回帰直線の傾きを求めると、

$$\alpha = 0.63 (\text{相関係数 } r=0.98) \dots\dots (4)$$

となり、コンクリート圧縮強度の影響は従来考えられていたよりも大きいという結果を得た。

(2) 重ね継手長の影響

横補強筋がない ($A_t = 0$) 場合に、式(1)を (l_s / ϕ) で偏微分すると、

$$\frac{\partial \sigma_{ss}}{\partial (l_s / \phi)} = \sigma_{ck}^{\alpha} \cdot (\beta + \gamma \cdot \frac{C}{\phi}) \quad (\beta, \gamma \text{ はパラメータ}) \dots\dots (5)$$

σ_{ck} 、 (C/ϕ) を一定とすると、式(5)は定数となる。そこで、 (l_s / ϕ) のみを変えた供試体で、継手破壊を起こした供試体 No.1-5 の破壊時の継手端部の鉄筋応力度と、 (l_s / ϕ) の関係を図-5に示す。プロットした5点の回帰直線の傾きを求めると、

$$\frac{\partial \sigma_{ss}}{\partial (l_s / \phi)} = 349.0 \quad (\text{相関係数 } r=0.94) \dots\dots (6)$$

図-5に試験結果と併せて式(1)に基づく継手応力度の計算値を示し

たが、それと比較すると、 l_s / ϕ の影響は大きいという結果を得た。なお、図-6に重ね継手長が5,7,15φの供試体の接合部のひび割れ正常を示す。図-6より明らかに、 $l_s = 7\phi$ の供試体

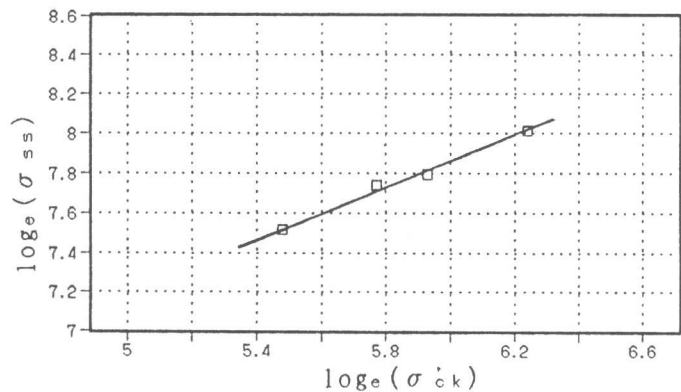


図-4：接合部のコンクリート圧縮強度と継手応力の関係

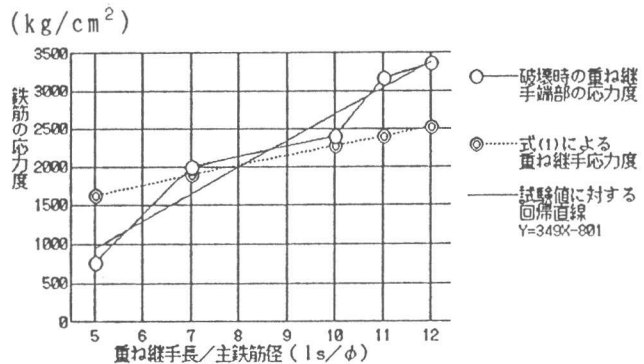


図-5：重ね継手長と継手応力の関係

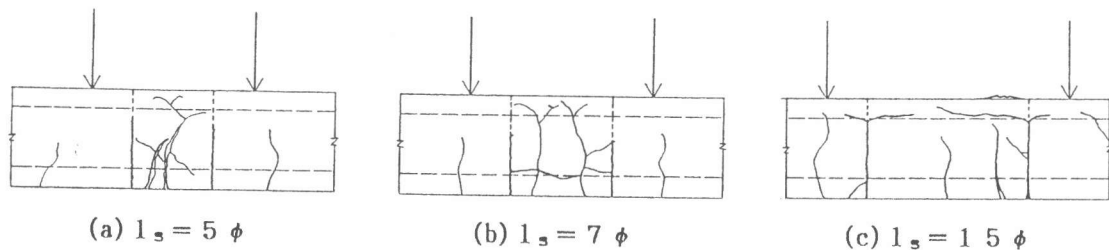


図-6：供試体の破壊時ひび割れ図

は典型的な継手割裂破壊を起こしており、 $l_s=15\phi$ の供試体は梁としての曲げ破壊を起こしている。しかし、 $l_s=5\phi$ の供試体はひび割れ図をみる限りそのどちらでもない。従って重ね継手長が非常に短い場合には鉄筋とコンクリートの付着切れとは異なるメカニズムで破壊に至るのではないかとと思われる。

(3) C/ϕ の影響

(C/ϕ) のみを変えた供試体(No. 15-21)において、破壊時の継手端部応力と (C/ϕ) の関係を図-7に示す。表-2の破壊形態の項に示すとおり鉄筋比の小さい供試体では打継目の目開きの影響を無視できないため、図より両者の間には明確な相関関係があるとはいいがたいが、主鉄筋径が同じ供試体の結果同士を比較すると、 (C/ϕ) が小さいレベルでは (C/ϕ) の影響は大きい、 $C/\phi=2.0$ 程度以上になるとほとんど継手強度に影響を及ぼさないという傾向が見える。

(4) 横方向補強筋の影響

横方向補強筋量のみを操作した供試体(No. 16-21)において、破壊時の継手端部応力と $(15 \cdot At/s \cdot \phi)$ の関係を図-8に示す。 (C/ϕ) の場合と同様両者の間に明確な線形相関関係は得られなかったが、補強筋径が同じ供試体同士を比べると、補強筋量の多い方が継手強度も大きくなるのが分かる。また、式(1)より求めた継手強度の計算値よりも小さな応力で割裂破壊を起こしているが、これは重ね継手長が短かったため応力伝達があまくいかず、局所的な応力集中により破壊に至ったのではないかと考えられ、重ね継手長が 7ϕ 程度と短い場合には式(1)は適用範囲外となるようである。

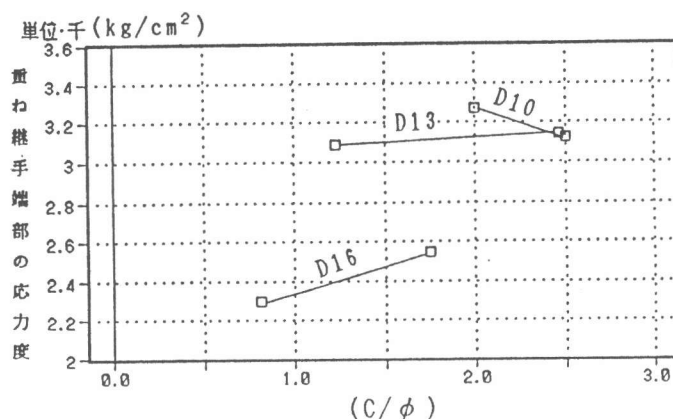


図-7： (C/ϕ) と継手応力の関係

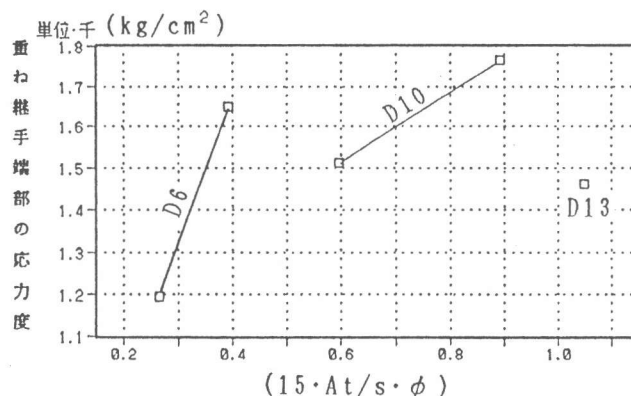


図-8：横方向補強筋量と継手応力の関係

5-2. 打継目の影響

4. 試験結果の項でも触れたが、

表-2の破壊モード欄において目開きと記された供試体は、打継目の目開きが拡大し破壊に至ったもので、いずれも鉄筋比が他の供試体に比べ小さい。打継目がある程度の目開きを起こすことは避けられないが、主鉄筋がD16×3本(鉄筋比0.8%)以上配置されていれば、打継目の目開きによる断面欠損に鉄筋が耐え、目開き幅が拡大しない。しかし、鉄筋比が小さいと、打継目の断面欠損に鉄筋が耐えられないため、目開きが徐々に拡大し、重ね継手部よりも先に打継目部分の鉄筋が降伏に至ると考えられる。従って対策としては、鉄筋比1%程度以上の主鉄筋を配置することが有効と思われる。

5-3. 耐力

図-9に、全供試体の破壊時の継手部の曲げモーメントと、曲げ耐力の計算値との比を示す。この図において値が1以下(耐力を下回る曲げモーメントで破壊している)の供試体は、継手長 l_s が5φ、7φといった短い供試体群で、 $l_s=10φ$ 以上の供試体ではほとんどが耐力を上回っている。従って施工に通常用いられる重ね継手長さ(15φ程度以上)においては、一体梁と同程度の耐力を有すると思われる。

6. まとめ

一段面に重ね継手を集中した場合において重ね継手強度に影響を及ぼす各要因の定量的評価を試みる試験を行い、以下の結論を得た。

- 1) コンクリート圧縮強度の影響はOrangunらの式において考えられていたよりも大きい。
- 2) 重ね継手長の寄与する割合も大きく、式(1)によれば継手破壊が起こるはずの $l_s=15φ$ の供試体であっても、継手破壊ではなく曲げ破壊に至った。
- 3) $C/φ$ の値が小さいときはその影響は大きいが、2.0程度以上に大きくなるとその効果は小さくなる。
- 4) 横方向補強筋は、その量が増すほど継手強度も増すが、継手長が短いと期待したほどの強度が得られない。
- 5) 鉄筋比が小さい場合、打継目の目開き幅の拡大により、継手強度以下で破壊に至るが、鉄筋比が1%程度以上であれば目開きの影響は少ない。

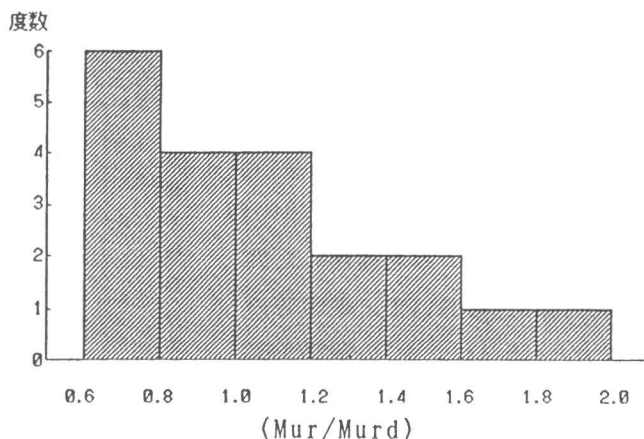


図-9：設計曲げ耐力と破壊曲げモーメントの比

参考文献

- 1) 別所、角陸：“鉄筋継手の種類と力学性状”：コンクリート工学Vol.29, No.12, pp20-32, 1991.12
- 2) C.O.Orangun, J.O.Jirsa, J.E.Breen：“A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices”：ACI Journal, Title No.74-11, March 1977, pp.114-122.
- 3) 土木学会編：“昭和61年制定コンクリート標準示方書設計編”：1986.11, pp.110-111.
- 4) 高木、石橋、古谷、海野：“一断面に重ね継手を集中した場合の継手強度に関する実験的研究”：第46回土木学会年次学術講演会講演概要集V, pp.738-739, 1991