



二重床構造によるスラブ・梁接合部の 補強方法に関する実験的研究

正会員 吉村浩二^{*1}
同 飯田郁夫^{*4}

同 菊池健児^{*2}
同 沖田廣司^{*5}

同 小野雅生^{*3}
準会員 松本佳也^{*6}

*1 大分大学教授・工博

*2 同助教授・工博

*3 同大学院学生

*4 (株)飯田建築設計事務所

*5 (株)システム研創

*6 大分大学学生

(その1)

二重床構造の概要およびRC造梁に取り付く床スラブの実験概要

1.1 はじめに

建設省住宅局が全国の普通所帯約10万戸を対象に最近実施した『住宅需要実態調査結果』1)によると、回答者の約半数以上が『収納スペース』および『住宅の遮音性や断熱性』に関する不満を持っている。これらの不満をできるだけ解消し、鉄筋コンクリート(RC)造集合住宅における『質の向上』を図るために、筆者らはRC造逆スラブ工法による二重床構造を提案し実用化に向けた開発研究を行ってきた。本論(その1)(その2)では、本研究の成果を基に設計・施工された二重床構造のRC造建物を紹介しながら、本構造システムの特長を述べ、本構造システムに用いられるRC造逆スラブの構造挙動の確認および性能向上のために行ってきた実験研究の結果をまとめている。

1.2 二重床構造の概要および特長

図-1.1は、二重床構造を採用し大分市に完成した7階建てのRC造集合住宅を示し、図-1.2は、この建物の断面図である。また、図-1.3～図1-6は、二重床の施工中および完成後の写真を示している。図-1.2の断面図に見られるように、本構造システムでは梁の下端に床スラブが取り付け、いわゆる逆スラブを採用しており、居室等の床は大梁および小梁に架け渡された(自動車用鋼材を流用した)ビーム材のうえに根太を組み、フローリング材を貼っている(図-1.5参照)。このように二重床とすることにより、床下に広い収納スペースが確保され、配管が床下で処理できるためその保全が容易に行える他、上階の遮音性の改善が図られるなどの多くの利点がある。



図-1.1 二重床を有する集合住宅の外観

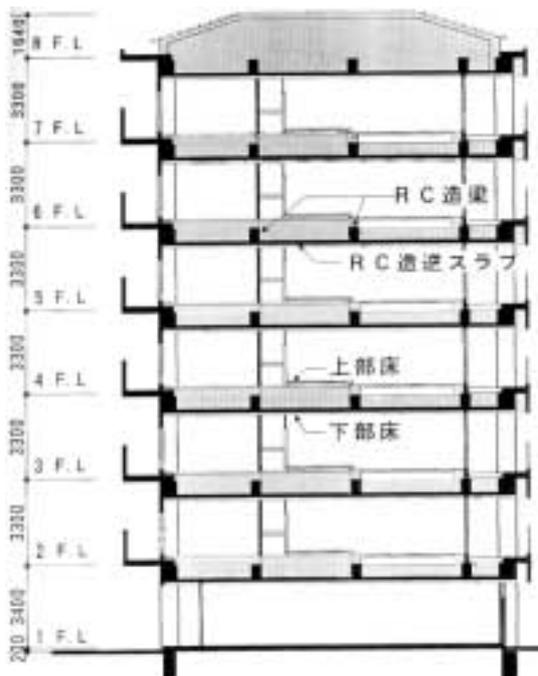


図-1.2 二重床構造を有する集合住宅の断面図



図-1.3 逆スラブの配筋状況



図-1.4 コンクリート打設後の逆スラブ



図-1.5 上部床の床組



図-1.6 完成後の室内

1.3 逆スラブ構造に関する実験研究の目的

二重床構造の下の床スラブは、スラブ・梁接合部において逆T形あるいはL形の断面になる。このような断面を有する床スラブおよび梁との接合部の構造挙動に関する研究は十分に行われていない。そこで、本研究では逆T形、L形の床スラブの鉛直荷重時の挙動の把握と十分な耐力および変形性能を発揮することのできるスラブ・梁接合部の配筋法開発することを目的として実験を行ってきた。これまでに、鉄筋コンクリート造の梁に逆スラブが取り付け対象として、合計15体の試験体に対して静的鉛直加力実験を行っており、その結果の一部は参考文献2)～5)に発表している。本論(その1)(その2)では、これらの実験の結果を総合的にまとめたものである。

1.4 試験体

試験体は実大スケールのスラブ・梁集合材であり、通常のT形のスラブ試験体1体(OT)、逆T形スラブ試験体8体(IT、ITFシリーズ)、L形スラブ試験体6体(L、LFシリーズ)の計15体からなる。図-1.7に逆T形、L形スラブ試験体の形状寸法を示し、図-1.8および図-1.9に全試験体のスラブ・梁断面図を示す。また、表-1.1にスラブおよびスラブ・梁接合部の配筋リストを示す。

試験体(OT)とITシリーズの試験体(IT-1)は、同一のスラブ配筋である。試験体(IT-2)はスラブ・梁接合部にせん断補強筋を施した試験体で、試験体(IT-3)はさらにスラブ上端に曲げ(引張)補強筋を施した試験体である。

試験体(IT-1J)はIT-1と同一スラブ配筋で、試験体(IT-2J)はIT-2と同一スラブ配筋であり、IT-1J、IT-2Jは梁断面内のスラブの天端位置に打ち継ぎ面が存在している場合を想定し、コンクリートを2度打ちした。

Lシリーズでは、試験体(L-1)は通常のスラブ・梁接合部の配筋法を採用し、試験体(L-2)はスラブ・梁接合部にせん断補強筋を施し、試験体(L-3)はさらにスラブ下端に圧縮補強筋を施した。

ITF、LFシリーズにおいては鉄筋トラス型枠を用いた。試験体(ITF-1、ITF-2)と試験体(LF-1、LF-2)は鉄筋トラス型枠をスラブ端部まで用いた試験体で、ITF-1とLF-1は通常のスラブ・梁接合部の配筋法を採用し、ITF-2とLF-2はスラブ・梁接合部にせん断補強筋が施されている。

試験体(ITF-3)は梁中央部まで鉄筋トラス型枠を用いた試験体で、スラブ・梁接合部にはせん断補強筋、スラブ下端筋位置には圧縮補強筋が施されている。試験体(LF-3)は梁端部まで鉄筋トラス型枠を用いた試験体で、スラブ・梁接合部にはせん断補強筋、下端筋位置には圧縮補強筋が施されている。

なお、試験体に使用した材料の力学的性質を表-1.1に示す。



図-1.7 試験体の形状寸法

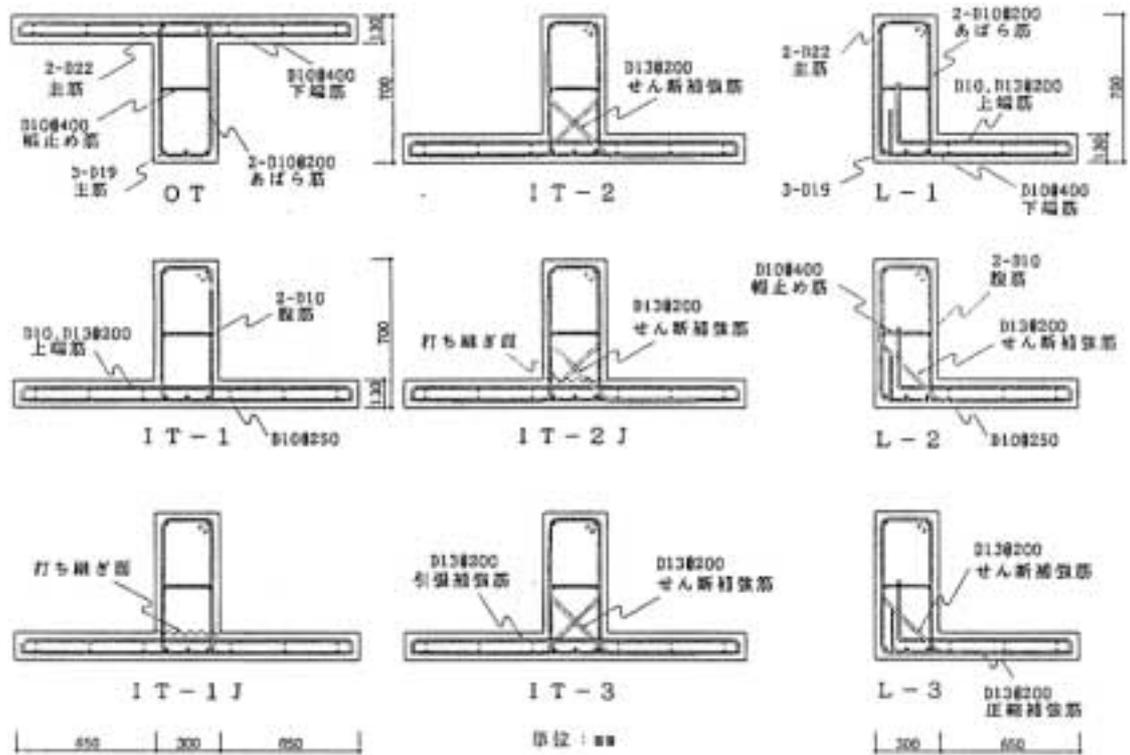


図-1.8 OT、ITシリーズおよびLシリーズ試験体の配筋

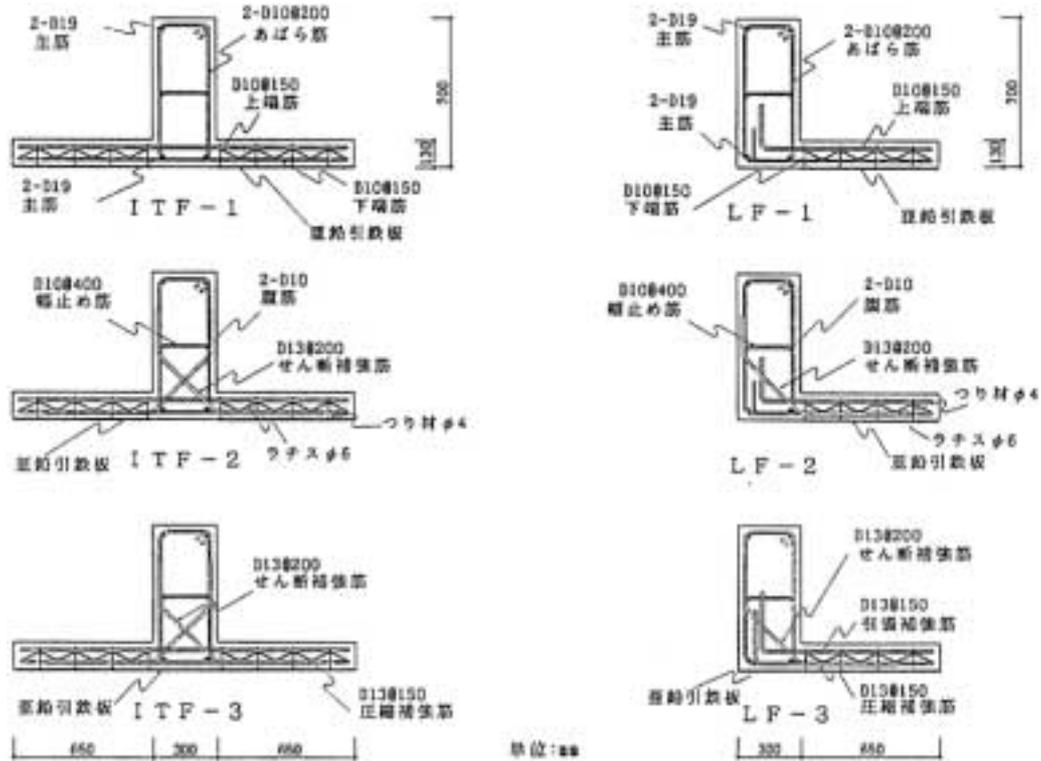


図-1.9 ITF、LFシリーズ試験体の配筋

表-1.1 配筋リストと使用材料の力学的性質

試験体	スラブ配筋				コンクリートの 圧縮強度 [kg/cm ²]	鉄筋の 降伏点強度	
	上端筋	下端筋	せん断補強筋	曲げ補強筋		D13 [kg/cm ²]	D10 [kg/cm ²]
OT					290		
IT-1	D13	D10	なし	なし	333	3490	3710
IT-1J	D10	@400					
IT-2	交互						
IT-2J	@200	D13	@200				
IT-3				(引)D13@200	335		
L-1	D13	D10	なし	なし	334	3490	4030
L-2	D10	@400					
L-3	交互						
L-3	@200	D13	@200				
ITF-1	D10	D10	なし	なし	276	3450	3650
ITF-2	@150	@150			293		(上端) 3580
ITF-3			@200	(圧)D13@150	292		(下端) 2620
LF-1			なし	なし	283	3450	3650
LF-2	D10	D10			309		(上端) 3580
LF-3	@150	@150	D13	(引)D13@150 (圧)D13@150	323		(下端) 2620

1.5 実験装置および測定方法

実験に採用した実験装置を図-1.10に示す。試験体梁両端部の支持は、スパン：2mの単純支持とした。床スラブへの鉛直荷重は線荷重とし、加力位置はスラブ端部からそれぞれ55cmとした。この加力位置は試験体のスラブ端部の曲げモーメントとせん断力との比が対象としている床スラブの端部の設計用曲げモーメントとせん断力の比にほぼ等しくなる位置である。L型スラブ試験体の実験では、スラブ片側への荷重により梁の回転が起こるため、試験体の梁を梁回転拘束治具により反力フレームに固定した。

試験体の鉛直変位は図-1.7に示す位置で変位計により測定した。ひずみゲージはスラブや梁の補強筋、スラブのコンクリート表面、さらにITFシリーズ、LFシリーズではスラブ下の鉄筋トラス型枠表面に貼付した。

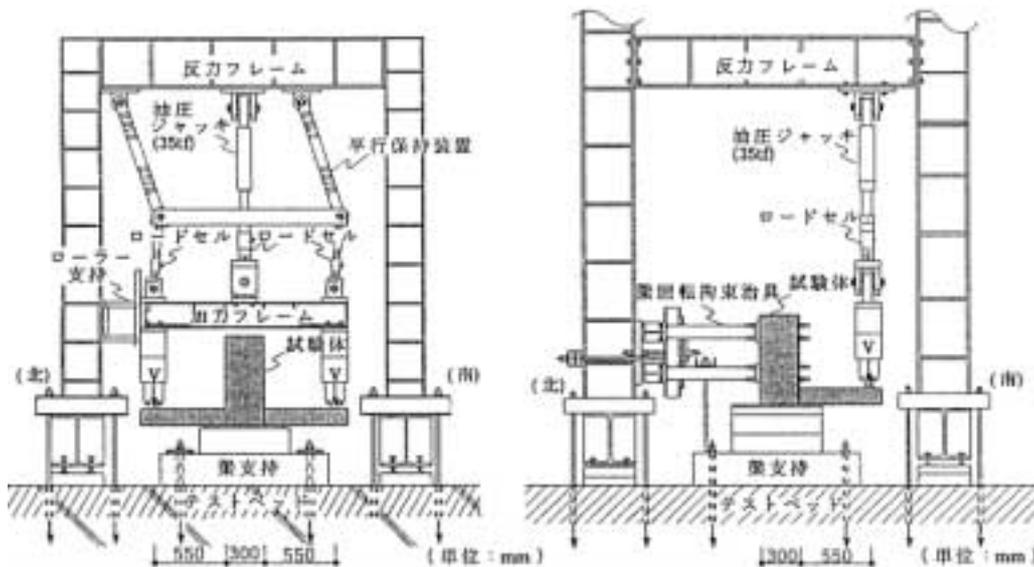


図-1.10 加力装置

1.6 結語

本報では、二重床構造の紹介とその力学的挙動の把握および配筋法開発のために行った実験の概要について述べた。

《参考文献》

- 1) 建設省住宅局, 昭和63年住宅需要実態調査結果 要約, 平成元年6月
- 2) 吉田和彦, 吉村浩二, 菊池健児, 黒木正幸, 飯田郁夫, 沖田廣司, “鉄筋コンクリート造逆スラブの配筋法に関する実験的研究(その1) 梁の両側にスラブが取り付けの場合”, 日本建築学会大会学術講演梗概C, 1990.10, pp.253 ~ 254
- 3) 吉村浩二, 菊池健児, 黒木正幸, 吉田和彦, 飯田郁夫, 沖田廣司, “鉄筋コンクリート造逆スラブ工法の配筋法に関する実験的研究(その2) 梁の片側にスラブが取り付けの場合の予備実験”, 日本建築学会九州支部研究報告 第32号, 1991.3, pp.273 ~ 276
- 4) 吉村浩二, 菊池健児, 吉田和彦, 飯田郁夫, 沖田廣司, 石井ケルソン “鉄筋コンクリート造逆スラブ工法の配筋法に関する実験的研究(その3) スラブに鉄筋トラス型枠を用いた場合”, 日本建築学会九州支部研究報告 第33号, 1992.3, pp.201 ~ 204
- 5) 吉村浩二, 菊池健児, 黒木正幸, 吉田和彦, 飯田郁夫, 沖田廣司, “Experimental Study on Strength and Ductility of R.C. Suspended Slabs”, Proc. of the 15th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, 1990.8, pp.381 ~ 388,
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1988年版

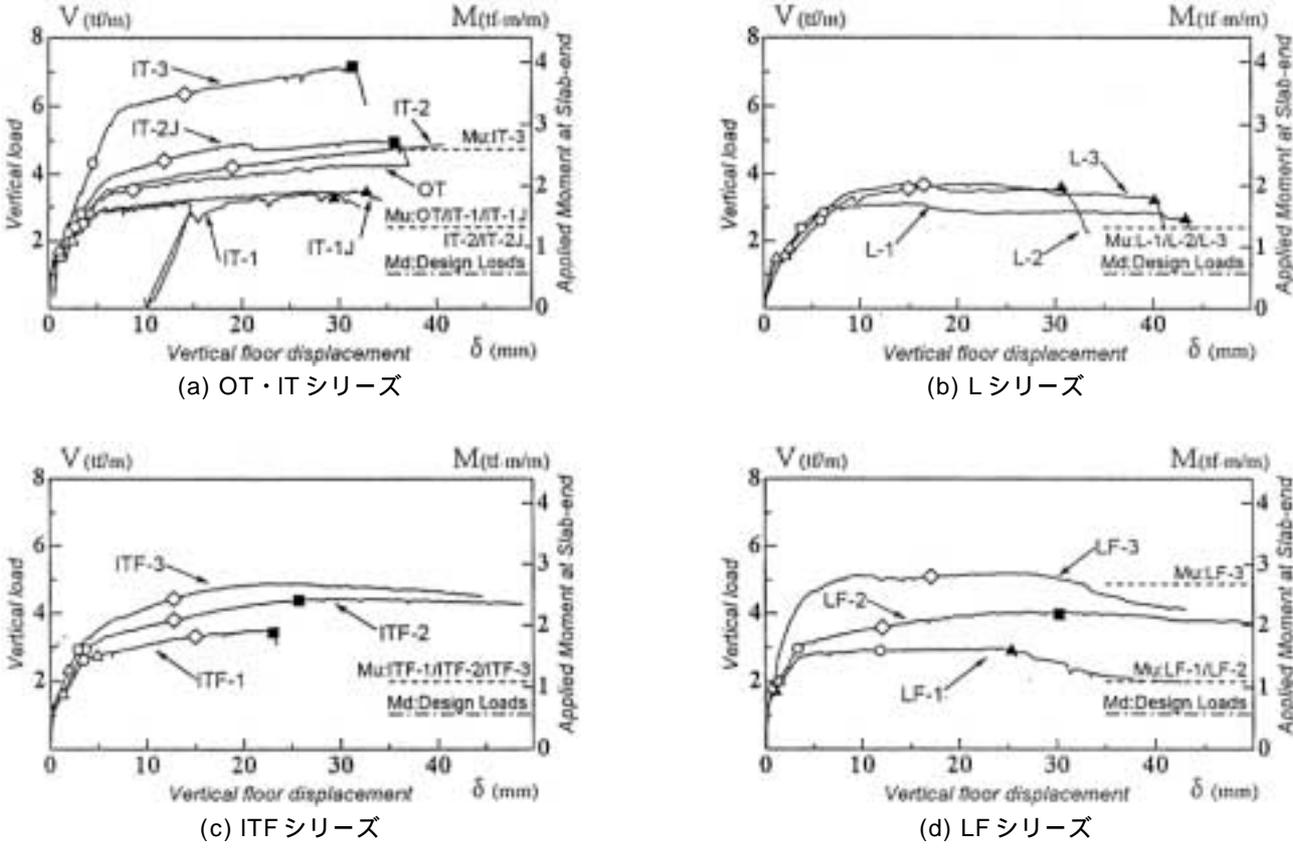
(その2) RC造梁に取り付く床スラブの実験結果および総括

2.1 序

前報(その1)では、二重床構造の概要、鉄筋コンクリート造梁に取り付く床スラブの実験概要について述べた。本報では、実験結果および総括についての報告を行う。

2.2 実験結果および考察

OT・IT、L、ITF、LFシリーズの各試験体のスラブに載荷した鉛直荷重(V)およびスラブ・梁接合部における曲げモーメント(M)とスラブの加力点位置における鉛直変位(δ)との関係を図-2.1に示す。なお、OT・IT、L、ITFシリーズの鉛直荷重(V)は、南北それぞれの側のスラブに載荷した平均鉛直荷重で、鉛直変位はスラブの加力点位置4点の平均鉛直変位である。また、L、LFシリーズの鉛直変位は、スラブの加力点位置における2点の平均鉛直変位である。図注の破線はスラブの設計用曲げモーメント(M_u)で、1点鎖線はRC規準の式(付20、42¹⁾)に示されている略算式によるスラブの曲げ終局耐力の理論値(M_o=0.9・a₁・σ_t・d)である。なお、各試験体のスラブの許容耐力および終局耐力の理論値や実験から得られた終局耐力を、表-2.1にまとめて示す。以下に各シリーズの主要な実験結果および考察をまとめる。



- | | | | |
|---|-------------|---|---------|
| ○ | : 下端筋 圧縮 引張 | △ | : 上端筋降伏 |
| ◇ | : 下端筋降伏 | ■ | : せん断破壊 |
| □ | : コンクリートの圧壊 | | |

図-2.1 スラブの鉛直荷重 鉛直変位関係

2.2.1 OT・IT シリーズ

T形の梁スラ集合材試験体（OT）では、1.4tf前後の荷重でスラブ端部上面に曲げひび割れが確認された後、約2.3tfの荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。スラブ端部下端筋は1.5tf前後の荷重で圧縮から引張に移行し、約3.5tfの荷重時に引張降伏している。

試験体（IT-1）とスラブ天端位置でコンクリートを打ち継いでいる試験体（IT-1J）では、1.5tf前後の荷重でスラブ端部上面に曲げひび割れが確認された後、約2.5tfの荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。その後、IT-1では35mm程度、IT-1Jでは29mm程度の鉛直変位が生じたときに、スラブと梁の接合部が図-2.2(a)に模式的に示すように曲げせん断破壊を起こして耐力が低下した。なお、スラブ端部下端筋は圧縮から引張に移行しているが、引張降伏しなかった。

スラブ・梁接合部にせん断補強筋を施した試験体（IT-2）では、約1.5tfの荷重でスラブ端部上面に曲げひび割れが確認された後、約2.4tfの荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。そして、約2.8tfの荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へ移行し、約4.1tfの荷重で降伏した。なお、せん断補強筋は実験終了まで降伏しなかった。

IT-2と同一の配筋を有しスラブ天端位置でコンクリートを打ち継いでいる試験体（IT-2J）では、約1.7tfの荷重でスラブ端部上面に曲げひび割れが確認された後、約1.8tfの荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へ移行し、約2.8tfの荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。また、約4.4tfの荷重でスラブ端部下端筋が降伏した。そして、最大荷重4.9tf、鉛直変位

34mmでせん断補強筋が降伏するとすぐに、北側スラブ端部下面コンクリートの圧壊が始まり、耐力の低下が見られた。

スラブ・梁接合部にせん断補強筋と引張補強筋を施した試験体（IT-3）では、1.6tf前後の荷重でスラブ端部上面に曲げひび割れが確認され、約1.7tfの荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へ移行し、約4.3tfの荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。また、約4.7tfの荷重で引張補強筋が降伏し、約6.3tfの荷重でスラブ端部下端筋が降伏した。その後、南側スラブ端部下面のコンクリートが圧壊し、急激な耐力低下が見られたので除荷した。なお、せん断補強筋は実験終了までに降伏しなかった。

以上、OT・ITシリーズの実験結果をまとめると；

- (1) 通常のT形スラブ試験体（OT）と同じスラブ配筋を施した逆T形スラブ試験体（IT-1、IT-1J）は、試験体（OT）に比べ、初期剛性はほぼ同じであるが、最大耐力が20%程度低くなる。これはスラブ・梁接合部に曲げせん断破壊が起こり、また梁下面のコンクリートが圧壊したためと考えられる。

図-2.1 許容耐力・終局耐力の理論値および実験結果

試験体	理論値				実験値	
	許容耐力*		終局耐力**		終局耐力	
	曲げモーメント Mu [t・m]	せん断力 Vu [t]	曲げモーメント Mu [t・m]	せん断力 Vu [t]	曲げモーメント Mu _{test} [t・m]	せん断力 Vu _{test} [t]
OT					2.35	4.28
IT-1		6.3(6.5)		9.5(9.7)	1.93	3.50
IT-1J	0.86(1.01)		1.32(1.56)		1.93	3.50
IT-2		13.5(15.2)		20.2(22.8)	2.68	4.88
IT-2J					2.74	4.99
IT-3	1.69(1.98)		2.60(3.05)		3.92	7.13
L-1		6.3(6.8)		9.5(10.2)	1.71	3.11
L-2	0.86(1.04)		1.32(1.50)		2.04	3.71
L-3		13.5(15.0)		20.2(22.6)	2.04	3.71
ITF-1		6.4(6.5)		9.6(9.7)	2.00	3.64
ITF-2	0.70(0.86)		1.09(1.33)		2.44	4.43
ITF-3		12.1(14.9)		20.4(22.3)	2.70	4.90
LF-1	0.70(0.86)	6.4(6.5)	1.09(1.33)	9.6(9.8)	1.62	2.94
LF-2		12.1(15.0)		20.4(22.5)	2.22	4.03
LF-3	1.74(2.04)	12.0(15.0)	2.60(3.15)	20.2(22.5)	2.86	5.20

* 鉄筋の規格降伏点強度（ $f_y=3000\text{kgf/cm}^2$ ）コンクリートの設計規準強度（ $F_c=270\text{kgf/cm}^2$ ）を使用して計算した。

** 終局耐力は、略算式によって求めた。

()内は、実験で使用した鉄筋の降伏点強度およびコンクリートの圧縮強度を使用して計算した。

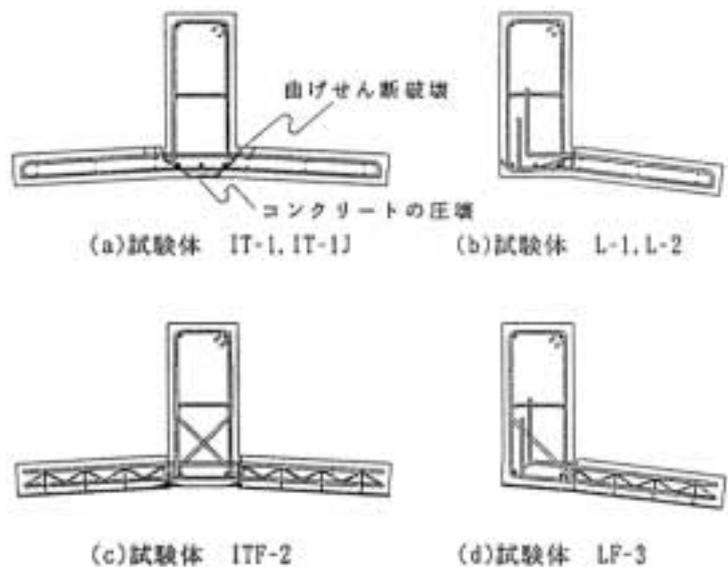


図-2.2 逆スラブ試験体の破壊状況の模式図

- (2) スラブ・梁接合部にせん断補強筋を施した逆T形スラブ試験体 (IT-2、IT-2J) では、最大耐力が通常の配筋の逆T形スラブ試験体 (IT-1、IT-1J) の最大耐力の 1.39 ~ 1.43 倍に上昇しており、T形スラブ試験体 (OT) と同等以上の耐力を発揮している。
- (3) せん断補強筋に加え、スラブ上端筋に曲げ補強筋を施した逆T形スラブ試験体 (IT-3) は耐力が他の試験体に比べ大きく上昇しているが、大変形域において接合部下面のコンクリートの圧壊により急激な体力低下を生じる。
- (4) コンクリート打ち継ぎ面が逆スラブの最大耐力、破壊性状などに及ぼす影響はほとんど見られない。

2.2.2 L シリーズ

全ての試験体で、1.4tf 前後の荷重でスラブ端部上面にひび割れが確認された後、スラブ端部下端筋が圧縮から引張へ移行し、約 2.4 ~ 2.8tf の荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。

試験体 (L-1) とせん断補強筋を施した試験体 (L-2) は、鉛直変位が約 17mm のとき梁下面にひび割れが発生し、約 0.2tf の荷重低下が生じた後、荷重は安定した。その後、L-1 では 41mm、L-2 では 31mm 程度の鉛直変位が生じたときにスラブと梁の接合部が、図-2.2(b) に模式的に示すように圧縮力を受ける梁下面のコンクリート部分がすべり破壊を起こし耐力が低下した。なお、L-1 ではスラブ下端筋、L-2 ではせん断補強筋の降伏は起こっていない。

せん断補強筋と圧縮補強筋を施した試験体 (L-3) では、約 1.5tf の荷重でスラブ端部下端筋、約 2.0tf の荷重で圧縮補強筋が圧縮から引張へ移行した。その後、荷重は安定し最大荷重約 3.7tf でスラブ端部下端筋と圧縮補強筋が降伏した。そして、鉛直変位が約 40mm のときに L-1、L-2 と同様の破壊を起こし耐力の低下が起きた。

以上、L シリーズの実験結果をまとめると；

- (1) せん断補強を施した L 形スラブ試験体 (L-2、L-3) は、通常の配筋を施した試験体 (L-1) の耐力を 19% 上回っている。
- (2) 試験体 (L-2) と圧縮補強筋を付加した試験体 (L-3) の実験結果を比較すると、両者の最大耐力にほとんど差が見られなかった。これは、梁下面のコンクリート部分がすべり破壊を起こし耐力が低下したためと考えられる。

2.2.3 ITF シリーズ

全試験体とも 1.5tf 前後の荷重でスラブ端部上面にひび割れが確認された後、荷重が 2.6 ~ 2.9tf 間でスラブ端部上層筋が降伏した。

逆スラブ試験体 (ITF-1) では、約 2.8tf の荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へ移行し、約 3.3tf の荷重でスラブ端部下端筋が降伏した。その後、鉛直変位が約 22mm のときに梁下面中央部のコンクリートが圧壊し急激に耐力が低下した。

せん断補強筋を施した逆スラブ試験体 (ITF-2) では、約 1.6tf の荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へと移行し、約 3.8tf の荷重でスラブ端部下端筋が降伏した。その後、鉛直変位が約 30mm のときに図-2.2(c) に模式的に示すようにスラブ端部下面のコンクリートが圧壊し、耐力が徐々に低下していった。なお、この試験体はせん断補強筋の降伏は起こっていない。

せん断補強筋と圧縮補強筋を施した逆スラブ試験体 (ITF-3) では、約 2.3tf の荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へと移行し、約 4.6tf の荷重でスラブ端部下端筋が、約 4.7tf の荷重で圧縮補強筋が降伏した。この試験体は試験体下面の破壊は生じず、せん断補強筋の降伏も起こっていない。

以上、ITF シリーズの実験結果をまとめると；

- (1) 試験体 (ITF-2) は通常の配筋を施した試験体 (ITF-1) の耐力を 25% 上回っており、鉄筋トラス型枠を用いた逆スラブ試験体においてもせん断補強筋の効果が確認された。
- (2) せん断補強筋に加え、スラブ下端に曲げ (圧縮) 補強筋を施した試験体 (ITF-3) では、最大耐力がさらに上昇しており、試験体下面のコンクリートの圧壊も生じなかった。このことから、スラブ下端に圧縮補強筋を施すことが逆T形スラブの大変形域に生じるスラブ端部下面の破壊を防止するのに有効であることが明らかになった。

2.2.4 LFシリーズ

全試験体とも 1.5tf の荷重でスラブ端部上面にひび割れが確認された。

試験体 (LF-1 と) せん断補強筋を施した試験体 (LF-2) は、1.8tf 前後の荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へ移行し、約 2.8tf の荷重でスラブ端部上端筋が降伏した。その後、LF-1 は鉛直変位が約 25mm のときに圧縮を受けるコンクリート部分がすべり破壊を起こした。また、LF-2 は約 4.0tf の荷重であばら筋が降伏したと同時に曲げ破壊が起こりスラブ端部下面のコンクリートが圧壊し、鉛直変位 30mm のときに荷重が穏やかに低下し始めた。

せん断補強筋に加え圧縮補強筋と引張補強筋を施した試験体 (LF-3) では、約 1.8tf の荷重でスラブ端部下端筋が圧縮から引張へと移行した。その後、耐力は上昇していき、約 4.7tf の荷重であばら筋が降伏し、次いで約 5.1tf の荷重でせん断補強筋が降伏して荷重が安定し、鉛直変位 17mm のときにスラブ端部下端筋と圧縮補強筋が降伏した。そして、鉛直変位 30mm のときに耐力が低下していった。これは、試験体の上端筋を密に配筋し過ぎたため図-2.2(d) に模式的に示すようにスラブ上端筋位置に沿ってひび割れが生じた後、スラブが曲げ破壊したものである。なお、この試験体ではスラブ上端筋の降伏は起こっていない。

以上、LFシリーズの実験結果をまとめると；

- (1) せん断補強筋を施した L 形スラブ試験体 (LF-2) は通常の配筋を施した試験体 (LF-2) に比べ最大耐力が 37% 上回っており、かつ十分な変形性能を有している。
- (2) せん断補強筋に加え、圧縮補強筋、引張補強筋を施した試験体 (LF-3) は、耐力が他の試験体に比べ大きく上昇しているが、試験体 (LF-2) に比べると変形性能がやや劣る。

2.3 まとめ

二重床構造に用いる逆スラブの鉛直荷重時の耐力・変形性能を明らかにし、床スラブおよびスラブ・梁接合部の適切な配筋法を開発するために、鉄筋コンクリート梁に取り付く床スラブを対象として逆スラブの鉛直載荷実験を行った。実験より得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 全ての逆スラブ試験体において、床スラブの終局耐力は略算式で求めた曲げ終局耐力の理論値 (M_u) をそれぞれ上回っており、スラブの設計用曲げモーメント (M_d) の 2.8 ~ 6.9 倍であった。
- (2) 梁の両側に床スラブが取り付く逆 T 形スラブ試験体では、T 形試験体と同一の通常の床スラブ配筋を施した場合には、初期剛性はほぼ同じであるが最大耐力が約 20% 低くなる。しかし、逆スラブのスラブ・梁接合部にせん断補強筋を施すことにより、通常の T 形スラブと比較して遜色のない構造性能を発揮できることが確認された。さらに、スラブ下端に圧縮補強筋を施すことは大変形域におけるスラブ下面のコンクリートの圧壊を防止するのに有効である。
- (3) 梁の片側に床スラブが取り付く L 形スラブ試験体においても、スラブ・梁接合部にせん断補強筋を施すことにより耐力・変形性能を向上させることができる。しかし、梁の両側に逆スラブを有する場合と比較すると L 形スラブの構造性能は若干劣る。
- (4) コンクリートの打ち継ぎ面による逆スラブの耐力・変形性能に及ぼす影響はほとんど見られなかった。
- (5) 鉄筋トラス型枠を使用した逆スラブも、通常の型枠施工による逆スラブの配筋法を開発することができたと考える。今後は逆スラブが鉄骨鉄筋コンクリート造や鉄骨造の梁に取り付く場合について開発研究を行う予定である。

謝辞

本研究の一連の実験を行うにあたり、大分大学建築構造学研究室の学生諸氏に多大の協力を頂いたことをここに記して深甚の謝意を表します。

《参考文献》

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計画規準・同解説，1988 年版