

鉄筋コンクリート折板稜線部の終局強度

片 岡 靖 夫*

Ultimate Strength of Folded Plate Ridges Subjected to Bending Moment

Yasuo KATAOKA*

(Received March 31, 1982)

In folded plate structures, the strength of the ridge when subjected to pure bending moment depends upon the main reinforcement and tensile strength of the concrete in the ridge. However, the reinforcement detailing for ridges that occur in folded plate structures is not obvious.

The object of this research is to investigate the ultimate strength of ridges when their structural elements are loaded to failure. The work described in this paper provides a rational basis for the determination of effective reinforcements in folded plate ridges subjected to pure bending moment.

1. 序

著者は、これまでに折板構造の解析法と同構造体の構造特性について公表^{1)~3)}してきたが、そのうちR.C角錐折板の崩壊性状に関する実験報告⁴⁾で折板稜線部の強度が崩壊性状及び構造全体の終局強度に強く影響することを示した。特に、R.C折板構造の凸稜に対し正の曲げモーメントを受ける稜線部の強度は、引張鉄筋並びにコンクリートの割裂強度に依存する。すなわち、稜線部の破壊は、引張鉄筋の降伏に伴う曲げ破壊あるいは稜線頂部の引張域におけるコンクリートの割裂のいずれかである。曲げ降伏の場合は、降伏ヒンジの形成以後応力の再分配により降伏線の新たな形成が行なわれ、折板の終局強度は稜線が降伏した時の耐力以上の値となるが、コンクリートの割裂が先行する場合は稜線部の支持機能を失い、その時点の強度が終局強度になることがある。この稜線部のコンクリートの割裂(写真1)は折板全体の脆性的な破壊につながることから、稜線部は靱性のある、

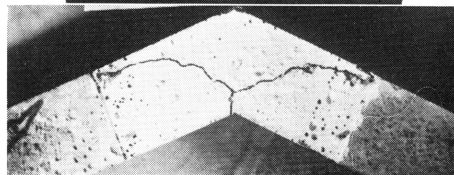
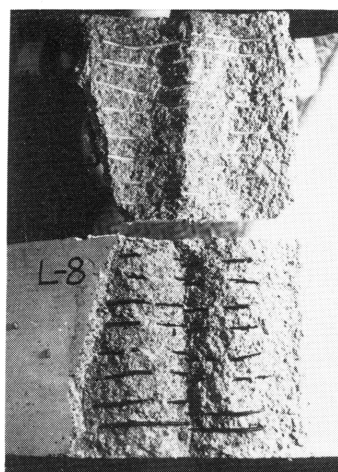


写真1 R.C折板稜線部コンクリートの割裂破壊

*建築学科 (Department of Architecture)

少なくとも単板の強度と同等かそれ以上の強度を有していることが望ましい。柱-梁接合部の研究⁵⁾は従来から多くなされているが、R.C 部材としては薄板に属する折板の稜線部は、鉄筋のかぶりを考慮すると梁-柱接合部ほどの配筋スペースを有しておらず、稜部の主筋の定着や補強法に関する研究はほとんどない。本報告は R.C 折板構造の一連の実験のうち、水平拘束をフリーにした凸稜部に正の純曲げが作用する実験によって、鉄筋の定着や補強鉄筋と、破壊性状及び終局強度との関係を示すものである。

2. 実験概要

2-1. 試験体の分類

試験体は2系列に分類し、A系列は引張鉄筋比を0.22%から1.1%まで変えた試験体9種類であって圧縮鉄筋比は零である。B系列は引張鉄筋比をすべて0.66%に統一して稜線部の定着及び補強筋を変えた8種類の試験体群である。試験体はA系列、B系列共に交角を130度とし、板厚10cm、板幅30cm、板長は片側80cmである。使用コンクリートの設計強度は 210kg/cm^2 とし、鉄筋はSR24、直径6mmの丸鋼である。

表1 試験体の強度と配筋

タイプ	配筋	A 系 列			タイプ	配筋	B 系 列		
		引張鉄筋比 (%)	コンクリート圧縮強度 (kg/cm^2)	コンクリート引張強度 (kg/cm^2)			引張鉄筋比 (%)	コンクリート圧縮強度 (kg/cm^2)	コンクリート引張強度 (kg/cm^2)
L2		0.22	324.7	26.5	L6R		0.66	294.4	20.5
L3		0.33	354.8	22.7	L6S		"	302.5	26.8
L4		0.44	354.8	22.7	L6A		"	325.4	30.7
L5		0.55	288.0	26.5	L6RA		"	306.2	20.8
L6		0.66	279.2	31.1	L6RS		"	331.4	23.4
L7		0.78	288.0	26.5	L6H		"	302.5	27.0
L8		0.89	368.0	29.6	L6K		"	312.8	23.8
L9		1.00	339.3	31.1	L6T		"	312.8	23.8
L10		1.11	339.3	31.1					

A系列の試験体は引張鉄筋のみ配筋されたものであって、定着は稜線部を避けた外側へのベントとし、純曲げを受ける稜線部のコンクリートの割裂強度と配筋量の関係並びに稜線部の破壊性状を明らかにすることを目的としている。

B系列はA系列の実験結果をもとに、稜線部の各種鉄筋による補強効果を調べるものであって、L6Aは圧縮鉄筋によるコンクリートの剝離防止、L6Sはスターラップによるコンクリート引張応力の負担、L6Rはループ状定着筋による引張域のコンクリートの拘束効果、L6Hは稜部のコーナーの水平補強筋によるコーナー曲げクラックの拡大防止、そしてL6RAとL6RSは前者がループ状定着筋と圧縮鉄筋、後者がループ状定着筋とスターラップの組合せた場合の補強の相乗効果を実験的に確めることを目的にしている。

2-2. 実験装置と実験方法

実験装置は写真2に示したアムスラー万能試験機とローラー支持装置から成り、支持装置はロールベアリングを介してH鋼のレール上にセットし水平移動を自由にしてある。この左右一対の支持装置は折板端部が自由に回転するように設計しており、板厚15cmまでの試験体を使用できる。折板の水平変位の拘束は、両端の支持装置を2本のP.C 鋼棒で連結して行い、その拘束度はP.C 鋼棒の太さで調整されるが本実験には用いていない。また、このP.C 鋼棒の緊張によって曲げ、せん断、軸力の複合応力の生じる稜線部の実験にも使用が可能である。実験はすべての試験体に対して、稜線部に正の純曲げが作用するようにアムスラーで2点載荷し、水平変位に対する拘束は完全にフリーにした。載荷は100kgの荷重段階とし破壊まで漸増させる。各荷重段階において変位と鉄筋

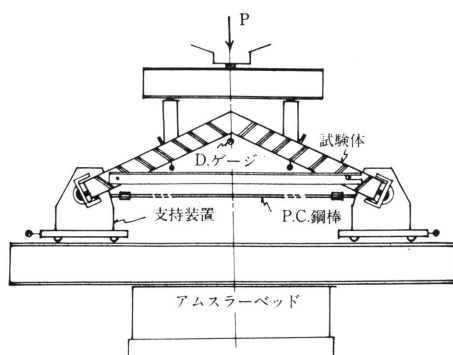


図1 実験装置略図

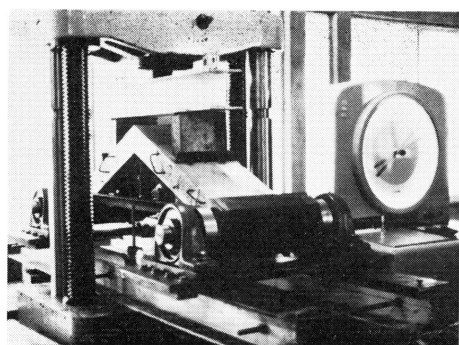


写真2 折板実験装置

の歪を測定し、同時にクラックの発生とその伸展を刻々記録した。

3. 実験結果と考察

A系列とB系列の実験によって得られたR.C折板稜線部の強度と破壊性状を表と図及び写真によって示し、これをもとに面外純曲げを受ける稜線部の力学的挙動について検討を加える。

3-1. ひびわれ性状

A系列の試験体のひびわれ発生機構は、まず稜線部の応力集中によってコーナークラックが発生し、荷重の増大と共にタテ方向のひびわれとなって中立軸方向へ伸展する。載荷量を増やすとひびわれ先端部から新しく分岐したひびわれが左右方向に急速に伸展していき、その後の荷重増大をみることなく直ちに耐力を失う。最終的にはこのひびわれがスラブ上面まで達し、圧縮側コンクリートは圧壊し、稜線部のコンクリートは完全に割裂し母材から剝離する。このコンクリートの割裂は写真1に示したごとく主筋定着部ベント筋に沿って拡がっている。

このひびわれ発生機構はL4を除いてはほぼ同様の傾向を呈し、コンクリートの割裂が生じたものは他のスラブ下ば部分に曲げひびわれの発生をみることなく極めてぜい性的な崩壊をする。

B系列の、ループの定着をした試験体及び稜線部に補強筋を挿入した試験体は、最終的にはA系列と同様にコンクリートの割裂が生じるが、そのひびわれはA系列のように単純な形とはならない。

ループ状定着のL6Rは、稜線下部のコーナークラックがループ筋に沿って環状に枝分れし、コンクリートの引張域においてさらにひびわれは左右に分岐する。最終的にはループ筋外側のがぶり部分のコンクリートに割裂が生じてコンクリートを押し出し耐力を失う。

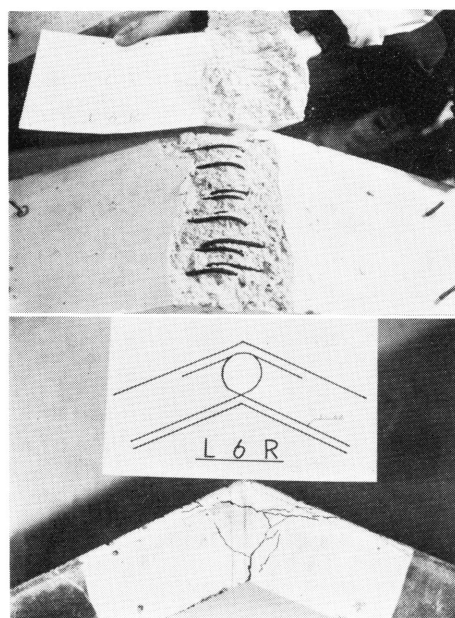


写真3 ループ状定着稜線部の破壊性状

スターラップを挿入したL6Sは、スターラップによる引張力負担のため、コンクリートの割裂後応力の再分配がなされひびわれの分岐が数ヶ所に生じ、左右方向のひびわれ本数が多くなる。

コーナー部に水平補強筋を挿入したL6Hについては、中立軸位置が下部へ移行するため、コーナーから発生したタテ方向のひびわれは長く伸展せず、稜線下部で枝分れし左右に拡がっていき、このひびわれ長さは大きくなる。またコーナークラック先端部近傍において数本の割裂ひびわれが生じるのが特徴的である。ループ状の定着筋と共に圧縮鉄筋あるいはスターラップを同時に挿入した、L6RA及びL6RSはL6Rとほぼ同様のひびわれ

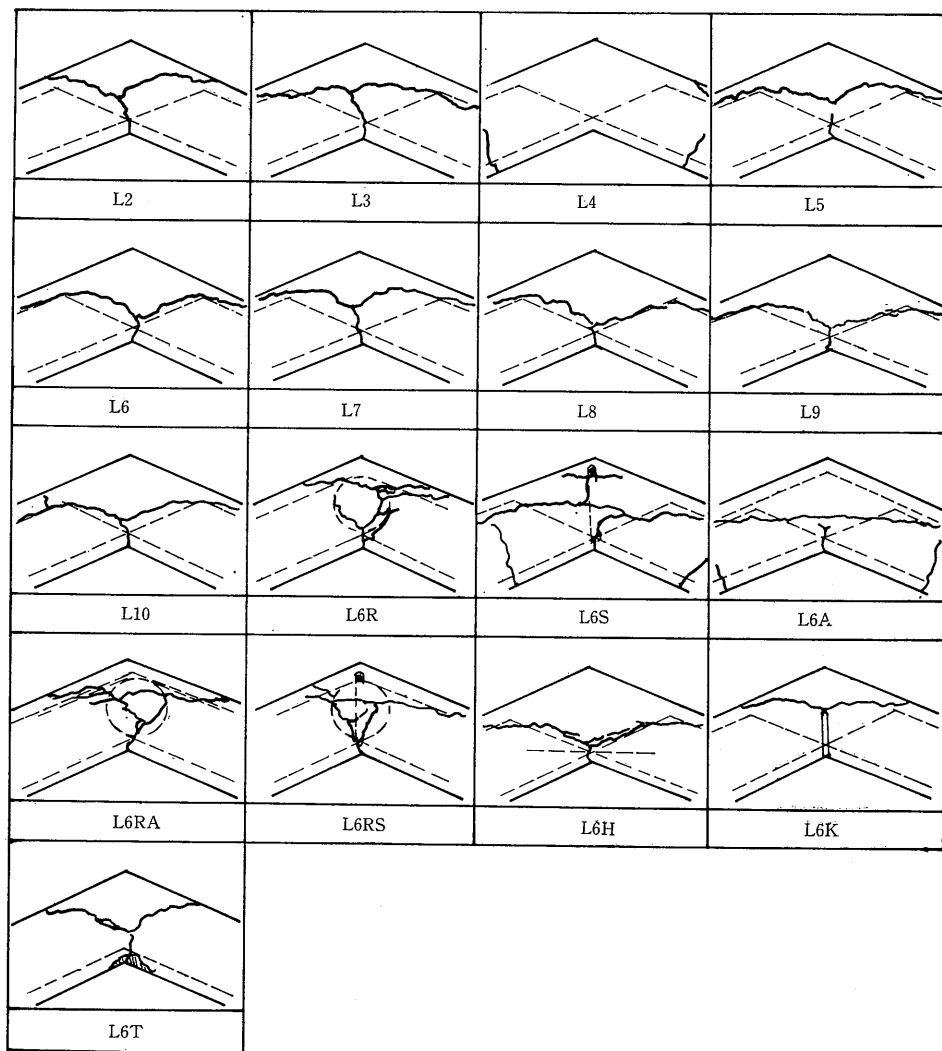


図 2 稜線部ひびわれ性状一覧

性状を示している。また、試験体のコーナー部に長さ53mmのタテスリットを入れてコンクリートの曲げ引張応力の影響をなくした L6K は、スリット先端部から左右対称方向にひびわれが伸展し、A系列の試験体と類似したひびわれ性状であった。

A系列は、稜線部のタテ方向引張域の抵抗要素がコンクリートだけであるため、コーナー曲げクラック先端からひびわれのわずかな枝分れが発生すると、このひびわれは急速に伸展して耐力を失うのに対して、B系列の補強筋を有する試験体は分岐したひびわれ発生後もひびわれの伸展はゆるやかであり、かつひびわれの再分岐あるいは他の部分に新たなひびわれがあって急速な耐力の低下はない。

3-2 .終局強度

R.C 折板凸稜部に正の純曲げモーメントが作用すると、稜線に対し鉛直方向の引張応力が生じ、この引張応力の最大値がコンクリートの割裂強度を越した時に稜線部は割裂して曲げに対する耐力と支持機能を失う。図3は、純曲げを受ける稜線部を等方性二次元弾性歪問題として、Least Square-Point Matching 法³⁾によって解析した結果であって、稜線部中央を原点とした γ 軸上の曲げ応力度の分布と、 x 軸と γ 軸上の γ 方向の垂直応力度の分布である。稜線の左右対称部分の主応力方向は x 軸方向と γ 軸方向であって、 γ 方向の最大引張応力度は中立軸より上部の位置に生じている。ほとんどの試験体に発生したコンクリートのひびわれの分岐と割裂は、こ

の y 軸方向の引張応力に起因するものであり、この引張力を負担しうる配筋法が必要とされる。

実験によるA系列の初キレツ荷重と終局強度は表2に示してあり、初キレツ時の加力値はダイヤルゲージとアムスラーの測定計の振れ及びひびわれの目視によって判断し、変形の増大による加力限界を終局荷重とした。その結果、初キレツ荷重は引張鉄筋の多い試験体ほど大きくなり、これははりやスラブなどの曲げ部材の鉄筋比と初キレツ荷重の関係に類似する。一方、終局荷重はL2, L3, L4と増大していくが、それ以上の鉄筋比を有する試験体については、実験値のばらつきを考慮に入れば特に強度の増大は見られず横這いの傾向となる。

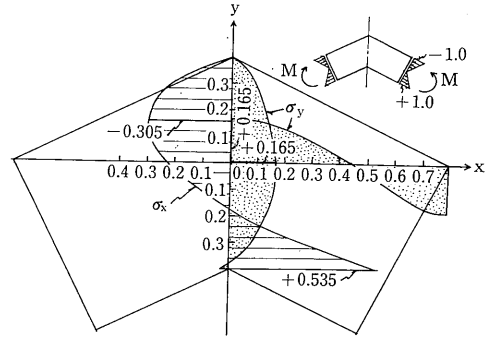


図3 純曲げモーメントを受ける折板稜線部の応力

表2 初キレツ荷重と終局強度

	タイプ	コンクリート引張 応力度 (kg/cm ²)	初キレツ荷重 (kg)	終局荷重 (kg)	終局モーメント (kg・cm)	備 考
A 系 列	L2	26.5	766	766	14500	稜破壊
	L3	22.7	800	1020	19308	稜破壊
	L4	22.7	875	1232	21284	曲げ破壊
	L5	26.5	875	1180	22337	稜破壊
	L6	31.1	950	1260	23851	稜破壊
	L7	26.5	980	1340	25366	稜破壊
	L8	29.6	1165	1300	24609	稜破壊
	L9	31.1	1200	1215	23000	稜破壊
	L10	31.1	1320	1420	26880	稜破壊
B 系 列	L6R	20.5	825	1850	35020	稜破壊
	L6S	26.8	1025	2460	46567	稜・曲げ破壊
	L6A	30.7	1150	2550	48271	稜・曲げ破壊
	L6RA	20.8	950	1610	30477	稜破壊
	L6RS	23.4	900	1810	34263	稜破壊
	L6H	27.0	1180	1375	26027	稜破壊
	L6K	23.8	965	1440	27295	稜破壊
	L6T	23.8		965	18267	稜破壊

B系列の試験体の引張鉄筋比はすべてA系列のL6と同一であって、稜線部の配筋が各々異っている。初キレツ発生時の荷重はL6とほぼ同じか、それに近い値を示しているが、終局強度はL6H, L6T, L6Kを除いて増大しており、L6の終局強度と比較すると1.4倍から2倍の耐力増加が見られる。すなわち、コーナークラックの

発生から稜線部にコンクリートの割裂が生じ崩壊に至るまでの荷重幅が大きいことを示すものであって、この実験で試みたB系列のループ状定着、スターラップの挿入、圧縮鉄筋の使用、あるいはこれらの組合せ補強は、R.C稜線部の終局強度の向上に有効であることが確認された。

A系列, B系列の試験のほとんどは, コーナークラックの先端から分岐したひびわれによって稜線部のコンクリートの割裂が生じた。これはコーナークラック先端部の応力集中係数が大きいことを示しており, B系列の試験体のうち, コーナー部に水平補強筋を挿入してコーナークラック幅の拡大を拘束したL6H, 及びあらかじめコーナー部にタテ方向に幅3mmのスリットを入れて切欠き先端部の応力集中係数を下げる試みをしたL6Kの実験では, 他の補強筋ほどではないが終局強度の増大がみられた。なお, 引張鉄筋を稜線下部でベントする連続配筋は, 鉄筋の稜線に垂直下向きの引張合力とのつり合いが引張鉄筋のかぶりのコンクリートのみによってなされるので, その部分のコンクリートの押し出しが生じて破壊する。L6Tの実験には, このかぶり部分のコンクリートの破壊と稜線部のコンクリートの割裂が同時に生じて破壊し終局強度も非常に低く, 実際の設計に連続配筋を行うことは避ける必要がある。

4. 結 語

この実験結果は折板の凸稜部に正の曲げモーメントが作用する場合としたが, 凹稜線では負の曲げモーメントが作用する場合, あるいはよう壁の壁と床の接合部や折板階段の接合部等, 板と板の接合部分の設計に適用できる。A系列の実験で, 鉄筋比の小なる試験体も稜線部のコンクリートの割裂で耐力を失っており, 曲げモーメントの方向によっては応力の大小にかかわらず稜線部の補強を行うことが望ましい。

ここでは触れなかったが, 本実験のパイロットテスト

としてA系列とB系列の試験体の縮尺2分の1の試験体について破壊実験を行っているが⁵⁾, 稜線部の破壊性状については本実験と同様な結果を得た。その実験では, モルタルと番線による試験体であったため相似率の点で実際のR.C折板への適用に問題が多く本実験の基礎資料とした。本報告では2系列の実験結果について示したが, 交角が種々変化する場合の性状, 水平拘束がある場合の力学的挙動, 繰返し加力を受けた場合の靱性の確保, 複合応力の作用する場合の力学的特性等, 系統的に解明しなければならない問題は多く, これらについては今後の課題としている。

参 考 文 献

- 1) 谷, 木原, 片岡: 折板の弾性論的研究(その2), 日本建築学会論文報告集号外, 昭42.
- 2) 谷, 片岡: **Least Square-Point Matching** 法による連続角錐型折板の弾性学的研究, 日本建築学会論文報告集, 昭53, 第266号
- 3) 谷, 片岡: 最小2乗法による境界値問題の **Point Matching** 法への応用(その1~その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭48, 49, 52.
- 4) 谷, 片岡, 佐野: 角錐折板の崩壊性状, 日本建築学会東海支部研究報告, 昭52.
- 5) 佐野長克: 鉄筋コンクリート角錐折板の終局強度並びに崩壊性状, 中部工業大学修士論文, 昭53.
- 6) H. E. Nilsson, A. Losberg: **Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment**, *Journal of the Structural Division*, ASCE, 1976.