

[148] 重ね継手を有する RC リングの曲げ破壊性状に関する研究

正会員 ○内田裕市 (清水建設技術研究所)
 正会員 青柳征夫 (電力中央研究所)
 正会員 遠藤達巳 (電力中央研究所)
 正会員 長澤保紀 (清水建設技術研究所)

1. まえがき

最近、地中構造物の建設に際し、従来仮設構造物として用いられてきた地中連続壁 (以下連壁と略す) を本体構造として利用することが検討されている。¹⁾ その一つとして、大深度の立坑等では水平断面形状を円形にすることにより連壁のみで本体構造とすることが可能であると考えられている。

本研究では、連壁単体の円形立坑を想定してリング型の試験体を用いた偏圧載荷試験を実施し、リング型部材の曲げ破壊性状ならびにそれにおよぼす継手の有無、長さの影響について検討を行った。また、継手を有するリング試験体へのFEM 解析の適用性についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の寸法は、図-1 に示すように外径 298cm、肉厚30cm、高さ40cmとした。試験体数は3体であり、重ね継手のないもの (RM-N)、継手長さを 30D (D 鉄筋径) としたもの (RM-30)、および継手長さを45D としたもの (RM-45) 各1体とした。

図-2 にRM-45 の配筋図を示す。主筋として D13 (SD30、降伏強度38kgf/mm²) を試験体の内側、外側ともに4本ずつ配置した。重ね継手はすべてオフセット形式であり、鉄筋のあきを 1.5D とし、試験体の 0°、90°、180° および 270° の4箇所に継手端部が位置するように設けた。また、試験体がせん断破壊しないよう、継手部以外はすべてスターラップで補強した。

組立てをおえた鉄筋はベントナイト泥水中に48時間浸漬させ、その後コンクリートを打設した。使用したコンクリートの強度試験結果を表-1 に示す。

表-1 コンクリート強度

試験体名	強度 (kgf/cm ²)			弾性係数 ×10 ⁴ (kgf/cm ²)
	圧縮	曲げ	引張	
RM - N	316	35.7	25.0	19.8
RM - 30	349	35.4	29.1	19.4
RM - 45	322	43.8	27.1	22.6

2.2 載荷荷重と加力方法

載荷荷重は地震時の偏土圧を模擬したもので、図-1 に示すように試験体の 315°、45° および 135°、225° の区間において作用する試験体中心方向の等分布荷重とした。図-3 に加力装置の概要を示す。本装置では、試験体と反力台との間

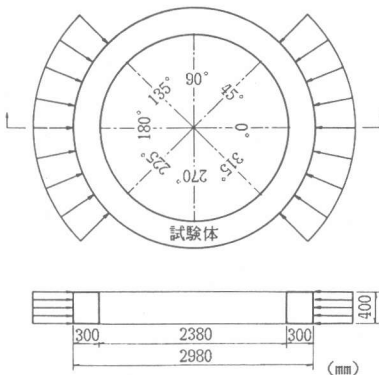


図-1 試験体寸法と載荷荷重

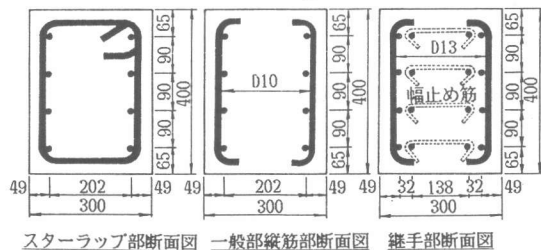
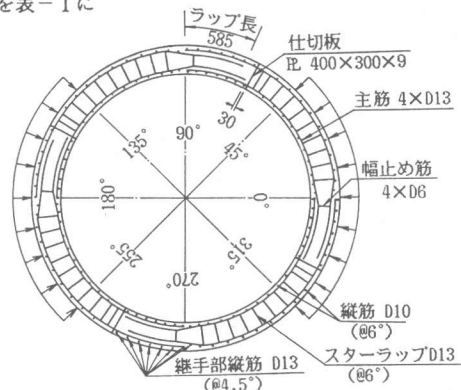


図-2 RM-45 配筋図

に挿入されたゴム製の水圧バッグによって等分布荷重が発生するようにした。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図-4、図-5に各試験体の0°と90°断面の水圧と半径方向変位の関係および、ひびわれ状況を、また、表-2に実験結果を示す。

重ね継手のないRM-Nでは0°と180°断面の引張鉄筋が降伏した後、続いて90°270°断面の鉄筋が降伏した。その後、半径方向変位が降伏変位の6倍程度に達した時点で最大耐力に達し、90°、270°断面にコンクリートの圧壊が観察された。なお、作用せん断力が最大となる45°、135°、225°、315°いずれの断面においてもせん断ひびわれは観察されなかった。

一方、重ね継手長さが30DのRM-30は0°、90°、180°、270°断面の鉄筋がほぼ同時に降伏した直後、0°と180°部の重ね継手部に付着割裂ひびわれを生じ、その後、徐々に荷重が低下した。しかし、90°と270°部の重ね継手部は、付着割裂ひびわれを生ずることなく、曲げ引張破壊を生じ崩壊に至った。

重ね継手長さが45DのRM-45はRM-30よりもわずかに最大耐力が上昇したが、RM-30とほぼ同様の破壊性状を示した。

3.2 耐力と変形性状

表-2に示した計算値は、試験体を全断面有効の曲りはりと仮定して求めた断面力を用い、土木学会限界状態設計法指針(案)に準じてRC断面として求めたものである。

実験値、計算値ともに鉄筋降伏荷重は、RM-Nに比べ、RM-30とRM-45の方が小さくなった。これは重ね継手が

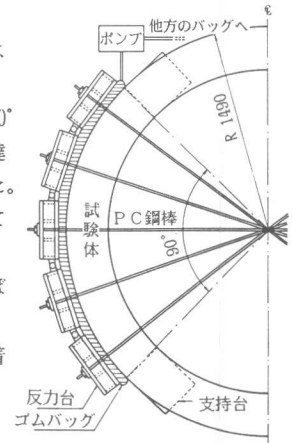


図-3 荷重方法

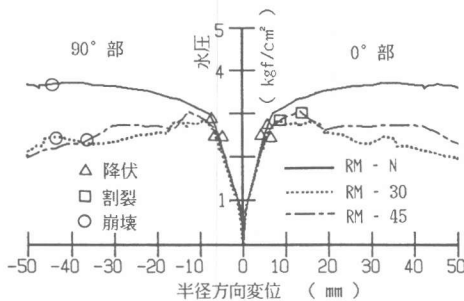


図-5 水圧-半径方向変位関係

表-2 耐力性状一覧

		RM - N	RM - 30	RM - 45
水	実験			
	0°、180° 降伏	2.70-2.75	2.48-2.65	2.40-2.44
	90°、180° 降伏	2.88-2.95	2.46-2.64	2.55-2.61
圧	計			
	RC			
	0° 降伏	3.03	2.77	2.80
	90° 降伏	3.64	3.23	3.29
	0° 終局	3.43	-	-
F E M				
	0° 降伏	2.8-2.9	2.4-2.6	2.6-2.8
	90° 降伏	3.0-3.1	-	2.8-3.0
	最大	4.0	-	-

* 単位: kgf/cm²

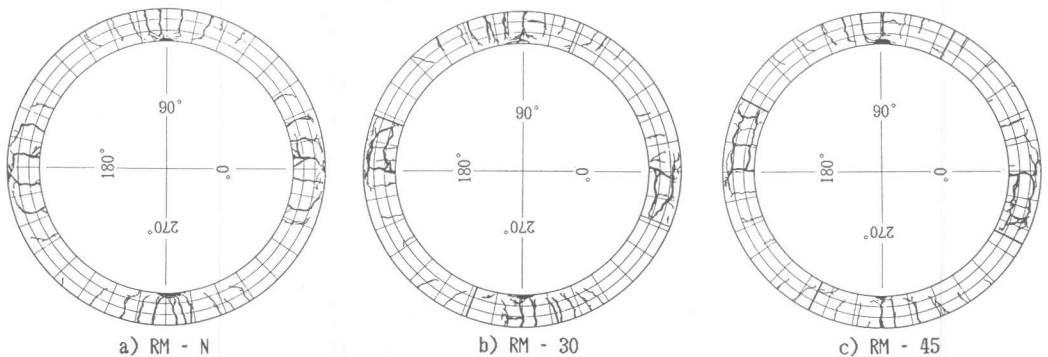


図-4 ひびわれ状況

オフセット形式であり、有効高さが小さくなるためである。また、RM-30 とRM-45 とでは、降伏荷重に差はみられなかった。いずれの試験体においても0°、180°断面の降伏荷重の実験値は、計算値よりわずかに低くなったが、ほぼ一致していると考えられる。一方、90°、270°断面では実験値は計算値より低くなる傾向があり、

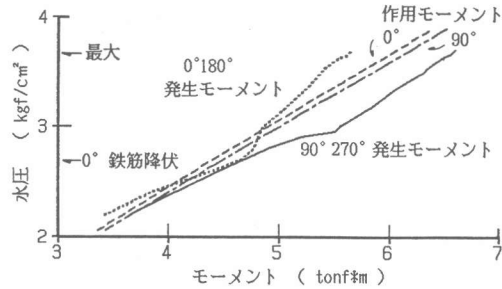


図-6 モーメント再分配 (RM-N)

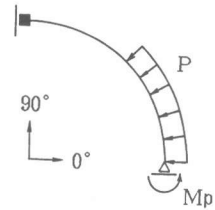


図-7 崩壊機構

これは主に0°、180°部でのひびわれ発生、鉄筋降伏にともなうモーメント再分配によるものと思われる。

重ね継手のないRM-Nの最大耐力は、0°断面計算降伏荷重の1.2倍、計算終局荷重の1.1倍となった。これに対し、重ね継手を有する試験体はいずれも鉄筋降伏後に0°、180°部で付着割裂ひびわれを生じた時点が最大耐力点となっており、RM-Nの80%程度となった。

図-4に示す水圧-変位曲線によれば、鉄筋降伏以前では、いずれの試験体もほぼ同様の変形状を示しており、重ね継手の有無および継手の長さの影響はないようである。降伏荷重以降では、重ね継手を有する試験体は付着割裂ひびわれを生じたため、それ以後、耐力が低下した。しかし、急激な耐力低下はみられず、比較的ねばりのある性状を示した。なお、RM-30とRM-45とでは、割裂ひびわれ発生以後もほぼ同様の荷重変位関係を示しており、本実験の範囲では継手長さが30Dの場合と45Dの場合では耐力、変形状に差はないと考えられる。

リング構造は内的不静定系であり、0°と180°断面に付着割裂ひびわれを生じヒンジの状態になったとしても、90°、270°断面が破壊しないかぎり系としては崩壊に到らない。そこで、いずれの試験体も90°、270°断面が曲げ引張破壊を生じたことから、両断面の圧縮縁のコンクリートひずみが3500 μ に達した時点を試験体の崩壊と定義し、図-4中に○印で示した。同図によれば、崩壊時の荷重は、一体ものに比べて重ね継手を有する試験体はいずれも60%程度の値となったが、変位量は3体の試験体間で特に差はなかった。

3.3 モーメント再分配と崩壊荷重

ここでは、RM-Nについてモーメント再分配と崩壊荷重について検討した。図-6は、水圧と0°、180°断面および90°、270°断面の発生モーメントとの関係を示したものである。各断面の発生モーメントは、鉄筋と圧縮縁コンクリートの実測ひずみから断面内のひずみ分布を仮定し、コンクリートの引張を無視して計算したものである。なお、計算の結果、0°と180°の発生モーメント、90°と270°の発生モーメントはそれぞれほとんど差がみられなかったため、図中ではそれらの平均値で示している。また、全断面有効として求めた各断面の水圧と作用モーメントの関係も示す。

図によれば、鉄筋降伏以前では、発生モーメントと全断面有効として求めた作用モーメントはほぼ一致しているが鉄筋降伏付近より両者に差が現われはじめ、0°、180°断面では発生モーメントが全断面有効時の作用モーメントより小さくなるのに対し、90°、270°断面では、発生モーメントが大きくなっており、モーメント再分配の状況が示されていると考えられる。最大荷重時のモーメントの再分配量は、両断面とも約7%程度であった。

RM-Nにおいて、0°断面に塑性ヒンジが形成され、その後90°断面が終局耐力に達した時点が系の終局状態であるとし、図-7に示すような構造系に対して崩壊荷重の計算を行った。ただし、ここでは塑性ヒンジの回転限界あるいは領域については考慮せず、理想的な塑性ヒンジが0°断面に形成されるとして、力のつり合いから計算した。その結果、0°断面の塑性モーメントとして計算降伏モーメントを用いた場合には、崩壊荷重は3.48kgf/cm²となるが、計算終局モーメントを用いた場合には、崩壊荷重は3.71kgf/cm²となり、実験時の最大耐力と一致する結果となった。したがって、塑性モーメントとして塑性ヒンジが形成される断面の降伏モーメントを用いることにより、リング試験体の最大耐力を安全側に推定できると考えられる。

4. FEM解析の適用性

4.1 解析概要

本解析手法は、コンクリートのひびわれ現象を分散ひびわれ (Smearred Crack) モデルとした非線形FEM解析である。各部分の力学的特性は以下に示すとおりである。

- a) コンクリート：構成則としてKupferの実験式を用い、破壊基準としては2軸主応力判定基準を用いた。
- b) 主筋：応力-ひずみ曲線はバイリニア型と仮定した。今回用いた分散ひびわれモデルでは、要素内にひびわれが分散し、かつ、引張部では広い範囲でひびわれ要素となるため、その間の鉄筋応力は平均的な値をとることとなる。そこで、本解析では見かけ上、鉄筋降伏値を80%に低下させることとした。
- c) 鉄筋とコンクリートの付着：付着応力・すべり関係はバイリニア型とした。降伏付着応力度は圧縮強度の1/10と仮定した。

4.2 解析結果の検討

表-2に解析結果と実験結果の比較を、また、図-8に各試験体の荷重-変位関係の解析結果を示す。RM-Nに関しては、実験結果と同様に0°および90°の引張鉄筋の降伏後、コンクリートの圧縮破壊により崩壊に至った。変形性状も非常に一致しており、分散ひびわれモデルにおいて、見かけ上、降伏値を低下させることが妥当であることが確認された。

RM-30、RM-45に関しては、図-8で示すように、鉄筋降伏荷重程度までは実験結果と一致しているが、それ以降については実験結果と解析結果との差が大きくなっている。この原因は、本解析で用いた付着要素では、せん断すべり現象のみを考慮しているので、付着割裂ひびわれを伴う半径方向力を表現できないためであると考えられる。

図-9にRM-30とRM-45の重ね継手部の付着要素の降伏荷重を示す。0°側では、RM-30、RM-45両者とも水圧3.0 kgf/cm²程度で引張側のほとんどの付着要素が降伏付着応力に達しているのに対して、90°側では、同じ荷重で健全部（すなわちバイリニアの弾性部）が残っている。この解析結果は、実験時の付着割裂ひびわれ発生位置および発生荷重とはほぼ一致している。したがって、本解析では、重ね継手部の付着割裂ひびわれ発生以降の変形は予測できないが重ね継手部全域の付着要素を照査することにより、その発生時点はほぼ推定できると考えられる。

5. 結論

重ね継手を有するリング試験体の偏圧載荷実験ならびに、FEM解析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 重ね継手のない試験体は、0°、90°、180°、270°部で主筋降伏後、変位が降伏時変位の6倍程度まで達して崩壊に至る。
- 2) 重ね継手を有する試験体は、継手長さが30D、45Dいずれの場合も、鉄筋降伏後、リングの内側が曲げ引張となる0°、180°部で付着割裂ひびわれが発生する。しかし、外側が曲げ引張となる90°、270°部は付着割裂ひびわれを生ずることなく、曲げ引張破壊を生じ、系全体としては比較的ねばりのある性状を示す。
- 3) 重ね継手を有する試験体の鉄筋降伏までの荷重変形性状は、重ね継手長さが30D以上であれば、継手のないものと同様の性状を示す。
- 4) 重ね継手のない試験体の最大耐力は、塑性ヒンジ部の塑性モーメントとして計算降伏モーメントを用いた崩壊機構を考えることにより安全側に推定できる。
- 5) 重ね継手のない試験体の荷重変形性状は、非線形FEM解析により推定することが可能である。また重ね継手を有する場合においては、鉄筋降伏までの荷重変形性状および継手部の付着割裂ひびわれ発生を解析的に推定することが可能である。

〈参考文献〉 1) 例えば、遠藤他：重ね継手を有する合成断面はりの曲げ特性，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，1984年

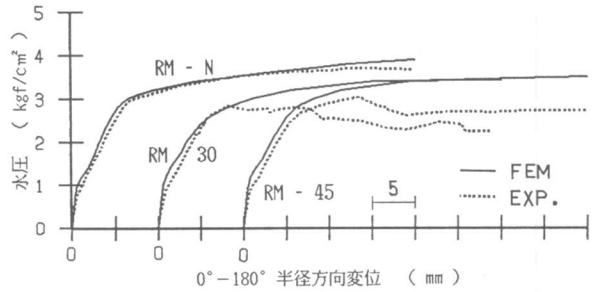
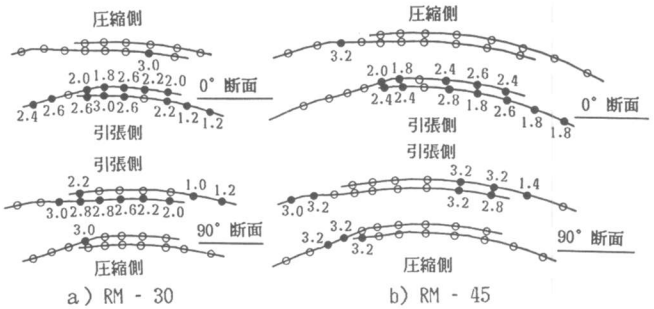


図-8 FEM解析による荷重変位関係



○健全部 ●付着降伏 (数字：降伏水圧 kgf/cm²)

図-9 付着要素の降伏状況