格子モデルを用いた RC 部材のせん断耐力に関する基礎的検討

A study on shear strength of RC members by lattice model

北武コンサルタント(株)	OIE	員	阿部淳一	(Junichi Abe)
北武コンサルタント (株)	正	員	渡邊忠朋	(Tadatomo Watanabe)
(公財) 鉄道総合技術研究所	正	員	渡辺健	(Ken Watanabe)
(公財) 鉄道総合技術研究所	正	員	中田裕喜	(Yuki Nakata)

1. はじめに

鉄道構造物における RC 部材のせん断力に対する設計 では、一般的にせん断スパン比によって2種類のせん断 耐力式を使い分けて照査を行っている¹⁾.

1 つは、コンクリートの受け持つせん断力と鉄筋の受け持つせん断力の和として算定される、トラス理論から 求まる棒部材のせん断耐力式である.もう一方は、RC 部材のタイドアーチ的な性状を考慮し、コンクリートの 圧壊によって生じるせん断圧縮破壊耐力式である.

これらのせん断耐力式は、一般的な鉄道構造物の設計では、せん断スペン比 a/d によって使い分けを行っている. a/d≧2.0 では棒部材のせん断耐力式、a/d<2.0 ではせん断圧縮破壊耐力式を用いてる. しかし、この閾値である a/d=2.0 は設計上用いている値であり、実際の RC 部材のせん断耐力機構は、軸方向鉄筋量やせん断補強鉄筋量によって異なってくることが考えられる.

一方, RC 部材の非線形挙動を比較的簡易に,かつ精 度良くモデル化できる手法として,格子モデル^{2),3}があ る.格子モデルは, RC 部材をトラス要素で組みあげて モデル化を行うものである.トラス要素であるため,モ デル化が容易であり,部材内の応力の流れも容易に把握 することが可能である.そのため,上述したようなせん 断耐力機構も,格子モデルを用いることにより,比較的 容易に検討を行うことが可能になると考えられる.

そこで本論文では, RC 部材のせん断耐力に関する検 討を格子モデルを用いて行うことを最終的な目的とし, そのための基礎的な検討を試みたものである.

2. 格子モデルの概要

格子モデルは、二羽らによって提案されたモデルであ り^{2),3)},図-1のようにコンクリート部材、補強鉄筋部 材、およびアーチ部材で構成される.各3部材は、以下 の要素から構成される.

① コンクリート部材

1) 上弦材・下弦材:曲げ圧縮・引張要素

- 斜材:斜め圧縮・引張要素
- ② 補強鉄筋要素
 - 1) 上弦材・下弦材: 圧縮・引張鉄筋要素
 - 2) 鉛直材: せん断補強鉄筋要素
- アーチ要素

格子モデルはトラス要素を組み合わせたモデルであり, 各トラス要素には材料構成則と断面積を入力して解析を



図-1 格子モデルの概念図



図-2 コンクリート要素の断面積設定の概念図

行うことになる. このとき, コンクリート断面を, 曲げ 圧縮・引張要素, 斜め圧縮・引張要素およびアーチ要素 に区分して断面積を入力する. この断面積入力の概念図 を図-2 に示す. コンクリートの斜め圧縮・引張要素と アーチ要素は, パラメータ t を用いて相対的に区分する. アーチ要素の断面幅を bt とし, 斜め圧縮・引張を b(1-t) とする. t 値の詳細については後述する. このほか, 補 強鉄筋要素には検討の対象とする補強鉄筋量相当の断面 積を入力することになる. なお, 格子モデルの詳細につ いては, 参考文献 2), 3)に詳しい.

3. 検討概要

本検討では,格子モデルを用いることの基礎的検討と して,格子モデルによるパラメータである t 値に着目し た検討を試みる.

パラメータ t 値は、参考文献ではポテンシャルエネル ギが最小となるように定めるものとしている.しかし、 筆者らのいくつかの試計算より、筆者らのモデルではコ ンクリートの材料構成則の違いにより、t 値を適切に設 定する必要があった.

これは、参考文献 2)、3)では、コンクリートの圧縮側 の構成則には、軟化係数 n を乗じて圧縮強度を低減させ ているためである. この軟化係数 n は、各解析ステップ におけるコンクリートの引張ひずみ ε, を用いて時々 刻々と変化させている.しかし,筆者らが用いるような 一般的な解析コードでは,異なる要素の材料構成則と関 連付けてその値を変化させることは難しい.

そこで本論文では, t 値をパラメトリックに変化させ て解析を行い,得られる結果から t 値とせん断耐力に関 して基礎的な検討を試みる.なお,t 値は前述のように, コンクリート部材のアーチ要素と斜め圧縮・引張要素と の分担割合を示すものである.そのため,t 値とせん断 耐力について何らかの関連性が確認できれば,コンクリ ート断面内の応力の分担割合やせん断耐力機構について の検討が行えるものと考えている.

4. 解析モデル

本論文が解析の対象としたのは、谷村ら⁴⁾の a/d=0.5, 2.0 の実験供試体とした.供試体のパラメータを表-1 に示す.本論文では、上述の供試体を図-3 に示すよう なモデル化を行い、解析を試みた.

材料構成則の一覧を図-4 に示す.補強鉄筋はバイリ ニア型の応力-ひずみ関係を用いる.コンクリートの圧 縮域は,圧縮軟化を考慮したモデルを用いる.本検討で は圧縮破壊エネルギを考慮した放物曲線モデルを用いる. なお,圧縮破壊エネルギ G_{Fc}は以下の中村らの式より算 出した.

 G_{Fc} =8.77 $f c_k^{1/2}$ (1) コンクリートの引張域は、斜め引張要素およびアーチ 要素には、鉄筋との付着を考慮しない 1/4 モデル ⁵⁾を用 いた.なお、1/4 モデルは、破壊エネルギ G_{Fi} =0.1N/mm とした.曲げ引張要素には、鉄筋との付着を考慮した岡 村・前川のテンションスティフニングモデル ⁶⁾を用いた.

5. 解析結果

図-5, 図-6 には供試体No.31 およびNo.3 の t 値別の 鉛直力, 鉛直変位の関係を示す. t 値は本検討では 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 の 4 種類で検討を試みた.

図-5 より, No.31 の a/d=2.0 の場合には, t 値の増加 と供に最大耐荷力が上昇する傾向となった.実験の最大 耐荷力 $V_{max}=416$ kN の結果と比較的近いのは, t=0.8 の結 果となった.

同様に図-6より, №3 の a/d=0.5 の場合にも, t 値の 増加と供に最大耐荷力が上昇する傾向となった.実験の 最大耐荷力 V_{max}=833kN の結果と比較的近いのは, t=0.4 の結果となった.

図-7 および図-8 には,最大耐荷力時の変形(10 倍)と応力コンター図を示す.図-7 はNo.31 の t=0.8 の 場合,図-8 はNo.7 の t=0.8 の場合である.図のように、。 a/d=2.0,および a/d=0.5 ではいずれも、下弦材である引 張鉄筋要素の応力が高いことがわかる.一方,垂直材で あるせん断補強鉄筋要素は、a/d=2.0 ではせん断スパン 内全域で比較的高い応力が発生しているが、a/d=0.5 で は内部のせん断補強鉄筋の応力は高いものの、部材高さ 全域では高い応力が発生していないことがわかる.なお、 いずれの解析モデルでも、耐力の低下はアーチ要素がポ ストピークを越えることにより発生している.

表-1 供試体の諸元4)

N₂		3	31
a	/d	0.5	2.0
f'c	(N/mm^2)	23.2	26.6
f_{sy}	(N/mm^2)	458	702
Es	(kN/mm ²)	160	179
p _t	(%)	2.14	2.14
呼び名		D10	D10
Ss	(mm)	100	100
f_{wy}	(N/mm^2)	388	388
E_w	(kN/mm ²)	147	147
p_{w}	(%)	0.48	0.48
V _{max}	(kN)	833	416









これらの結果と t 値を考察すると, a/d=2.0 のような せん断スパンが比較的長い場合には, コンクリート部材 内においてせん断補強鉄筋がせん断力の多くを受け持ち, 斜め圧縮・引張要素は, 応力の分担が小さいと考えられ る. さらに, 部材の変形を制御しているアーチ要素が, 帯鉄筋への応力配分を減少させていることが想定される. そのため t=0.8 程度の比較的高い値によってアーチの断 面積を上昇させたモデルが,実験値と近い解析結果にな ったと考えられる.

一方, a/d=0.5 の場合には, アーチ要素が主たるせん 断力の分担要素であると考えられるため, t 値の増加と 供に最大耐荷力が大きく上昇していく.しかし, 実験結 果と同程度の t 値は 0.4 程度であるため, 実構造物の応 力の分担は斜め圧縮要素と比較し同程度か, それ以下で あることが想定される.

6.まとめ

本論文は、コンクリート内の応力伝達機構が比較的容 易に確認できる格子モデルを用いて、格子モデルのパラ メータの1つである*t*値から、せん断耐力に関する解析 的検討を試みた.

a/d=2.0 の解析結果では, t=0.8 が実験値と近い最大耐 荷力となった.これは, a/d=2.0 の場合にはせん断補強 鉄筋がせん断力の多くを分担し、コンクリートの斜め圧 縮・引張要素は荷重分担の割合が低いためであると考え られた.さらにアーチ要素がせん断補強鉄筋への応力配 分を減少させるために, t 値が比較的高い 0.8 が実験値 と近い解析結果になることが考えられた.

一方, a/d=0.5 ではせん断補強鉄筋の応力分担が小さ く, アーチ要素が最大耐荷力に多く影響する要素である 結果が得られた.しかし,実験結果との耐荷力と比較す ると t=0.4 程度が妥当であり,実構造物の耐荷機構は斜 め圧縮とアーチの面積が同程度,あるいはアーチが若干 小さい程度であることが想定された.

本検討は、2 種類の供試体からの基礎的な考察であり、 検討ケースが不十分であると考えられる. 今後は、異な る帯鉄筋比や引張鉄筋比、せん断スパン比による解析を 行い、t 値とせん断耐力の関係を明確にすると供に、鉄 筋コンクリートのせん断耐力機構についての考察を行い たいと考えている.

参考文献

- 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造 物,丸善株式会社,2004.
- 二羽, 崔, 田辺:鉄筋コンクリートはりのせん断耐 荷機構に関する解析的研究, 土木学会論文集No. 508/V-26, pp.79-88, 1995.
- 三木・二羽:3 次元格子モデルを用いた鉄筋コンク リート部材の非線形解析,土木学会論文集 No.774/V65, pp.39-58, 2004.
- 谷村,佐藤,渡邊,松岡:スターラップを有するデ ィープビームのせん断耐力に関する研究,土木学会 論文集 №760/V-63, pp29-44, 2004.



図-6 No.3 t 値別の解析結果



図-7 最大耐荷力時の変形および応力コンター図(No.31)



図-8 最大耐荷力時の変形および応力コンター図(No.3)

- 5) コンクリート標準示方書 設計偏,丸善株式会社, 2007.
- 6) 岡村・前川:鉄筋コンクリートの非線形解析と構成 則,技報堂出版,1991.