

鉄筋が腐食した鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐荷機構

コンクリート研究室 須藤卓哉

1. まえがき

本研究では、塩害腐食がRC床版の構造性能に与える影響を把握することを目的とし、RC床版の押し抜きせん断試験を行った。また、耐力低下メカニズムの検証を行うための実験と有限要素解析もあわせて実施した。

2. 実験概要

2. 1 試験体概要

試験は、腐食の影響を把握するためのシリーズと、耐力低下メカニズムを検証するためのシリーズに分けられる。腐食の影響を把握するため、腐食させない試験体1体と腐食させた試験体3体を作製した。耐力低下メカニズムの検証用としては、健全試験体、主筋の付着を除去した試験体、かぶりコンクリートを除去した試験体、事前腐食した鋼材を使用した試験体の4体を作製した。試験体の概要図を図1に示す。コンクリートは、普通コンクリートを使用し、鉄筋は主鉄筋にD16、配力鉄筋にD10を使用した。鉄筋を腐食させる方法としては電食を用いた。28日間湿布養生を行った後、濃度3%の塩水中で、電食試験を行った。目標腐食量は10%、20%、30%の3水準とした。通電試験は定電流で行い、試験体1体あたりの電流は0.6[A]と設定した。通電時間は、田森らの¹⁾実験式を用いて、算出した。

2. 2 載荷概要

支持条件は、2辺単純支持とした。支間は900mmとした。載荷板には50×50mmの鋼板を使用し、部材中央を一点集中載荷し、破壊に至るまで静的に載荷を行った。計測項目は、荷重と中央および支点変位である。試験終了後、試験体に蛍光塗料を混入したエポキシ樹脂を注入した。エポキシ樹脂が硬化した後試験体をコンクリートカッターで切断し、ブラックライトにより紫外線を照射させて蛍光剤を発光させた上で、内部のひび割れ状況を観察した。

3. 実験結果

3. 1 耐力評価

図2に荷重-中央変位関係を示す。健全試験体(腐食量0%)の耐力に対して、鉄筋腐食が生じている試験体(目標腐食量10%、20%、30%)の耐力が低下していることがわかる。目標腐食量10%の試験体の耐力は、健全な0%の試験体の耐力に対して約2割減少した。また、目標腐食量20%の試験体の耐力は、0%の耐力に対して約3割、目標腐食量30%の場合には約2.5割減少した。目標腐食量20%のものよりも30%のほうが、耐力が大きくなったが、その理由としては、腐食分布の影響が考えられる。腐食量の測定結果と、耐力との関係については、後ほど考察を行う。

3. 2 内部ひび割れの観察

内部ひび割れを観察するために、載荷試験終了後に、試験体を切断して、ブラックライトで照射しながらひび割れ観察を行った。図

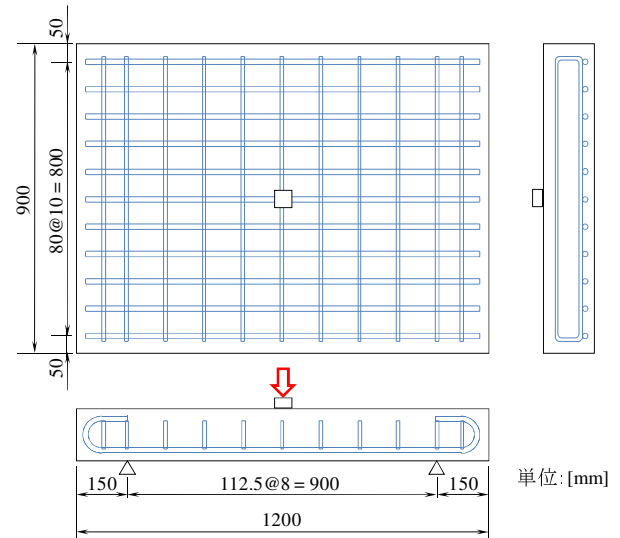


図1 試験体概要

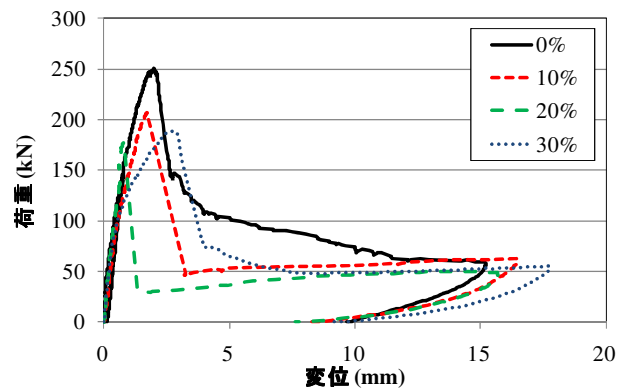


図2 荷重-中央変位関係

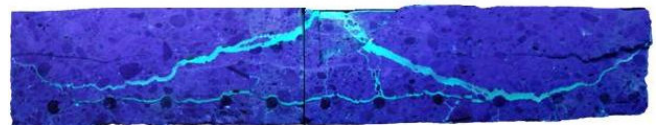


図3 内部ひび割れ図(軸直交方向)

3に代表的な結果として、目標腐食量20%における切断面のひび割れ状況を示す。鋼材腐食した試験体においても、載荷面から45°方向へ進展する斜めひび割れが発生しており、押し抜きせん断ひび割れの形状は健全試験体と相違なかった。ただし、鋼材腐食した試験体では主鉄筋の上面に沿ってひび割れが発生していた。このひび割れによって、コンクリートと主鉄筋の付着が劣化していた可能性がある。

3. 3 腐食量測定

はつり出した鉄筋を10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液(60°C)に数日間浸漬し、腐食生成物を除去した後、支間内の鋼材重量を測定した。測定された重量を健全時の鉄筋重量で除すこと

表1 腐食後の鉄筋の腐食量算出結果

目標値	計測値(全体11本)	計測値(中央5本)
%	%	%
0	0.0	0.0
10	15.9	18.3
20	28.4	30.4
30	34.5	26.1

で、質量減少率を算出した。支間内のすべての鋼材の腐食量の平均値と中央部の鋼材の腐食量を表1に示す。腐食量の目標値に比べて、実際の腐食量は若干大きかった。また、中央部の腐食量は目標値が20%のものより目標値が30%のものの方が小さかった。

3. 4 付着やかぶりコンクリートの影響

図4に、耐力低下メカニズム検証用の押し抜きせん断試験結果を示す。鋼材の付着を除去した試験体やかぶりコンクリートを除去した試験体、鋼材を打設前に腐食した試験体のいずれも、健全試験体と比較して、耐力は低下しなかった。このことから、鋼材の付着低下やかぶりコンクリートによるダウエル効果の消失が、押し抜きせん断耐力の低下には直接結び付かないことがわかる。他に考えられるメカニズムとして、腐食生成物の膨張による試験体の湾曲が挙げられる。

4. 腐食による耐力低下に関する考察

鉄筋の腐食による押し抜きせん断耐力低下を既存の評価式にもとづき、評価・検討することにした。押し抜きせん断耐力の評価式としては、代表的な前田・松井の式²⁾と、土木学会のコンクリート標準示方書式³⁾の2つを用いた。図5には、鉄筋の腐食率に応じて有効鉄筋比を低減させた場合のコンクリート標準示方書式および前田・松井式の耐力比を示した。押し抜きせん断耐力の実験値は、コンクリート標準示方書式および前田・松井式による算定結果よりも下回る結果となった。実験で観察された耐力低下は、鉄筋の断面減少のみでは説明できないことから、それ以外の耐力低下メカニズムが存在すると推測できる。

5. 有限要素解析

検証実験の実験結果が妥当なものであるかを確認すること、耐力低下メカニズムを特定することの2つを目的として有限要素解析を行った。図6に代表的な付着を除去した試験体の実験値と解析値の荷重-中央変位関係の比較を示す。実験値と解析値は剛性が多少異なるもののほぼ同値の値が得られた。かぶりコンクリートを除去した試験体と鋼材を打設前に腐食した試験体についても有限要素解析を行った。両者共に、実験値と解析値はほぼ同値を示した。よって解析上でも、鋼材の付着低下や鋼材の断面減少、かぶりコンクリートによるダウエル効果の消失が、押し抜きせん断耐力の低下には直接結び付かない結果となった。

腐食生成物の膨張による試験体の湾曲については、実験的に検証することが難しいので、有限要素解析を用いてこの現象を再現することで、検証することにした。試験体下面の湾曲変形の再現は、熱膨張を用いたケースと試験体側面に曲げモーメントを与えたケースで行った。図7に健全試験体と湾曲変形した試験体の解析値の比較を示す。健全試験体の解析値よりも湾曲変形した試験体の解析値が低い値を示した。よって、耐力低下メカニズムは、腐食生成物の膨張による試験体の湾曲が有力である。

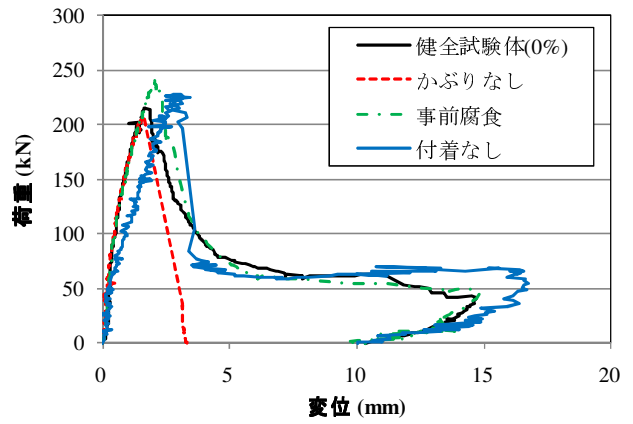


図4 検証実験の荷重-中央変位関係

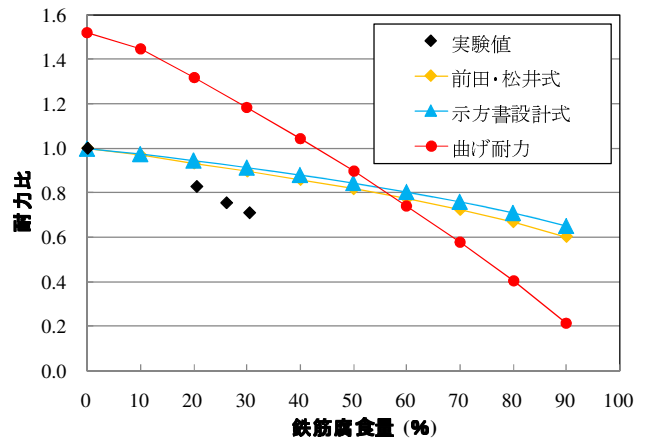


図5 耐力比-鉄筋腐食量関係

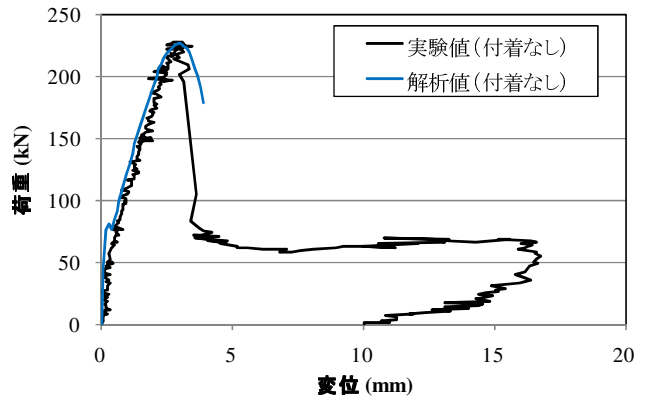


図6 実験値と解析値の比較(付着なし)

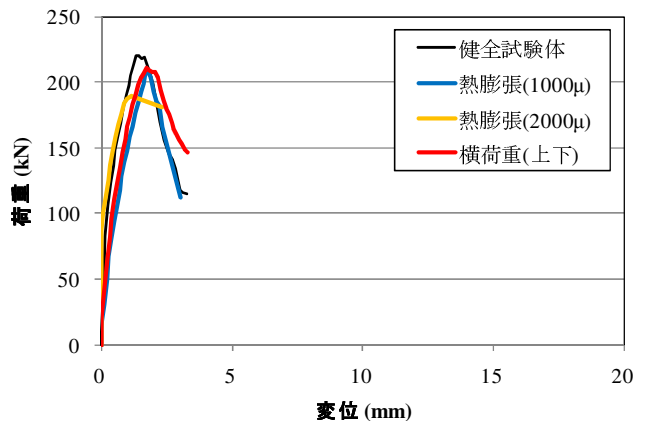


図7 健全試験体と湾曲変形した試験体の解析値の比較