

支持条件と版厚がRC版の静的押抜きせん断性状に及ぼす影響

Effects of static loading capacity on RC slabs with various support conditions and thicknesses

三井住友建設(株) ○フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)版に局所荷重が静的および衝撃的に作用した場合、押抜きせん断破壊が生じることは良く知られている。道路を落石から防護する落石防護覆道頂版は一般的にRC製であり、現在、性能照査型耐衝撃設計法の確立に向けた検討が各機関で実施されている。著者らも数多くの衝撃実験を実施し、耐衝撃設計法の確立に向けた検討^{1)~3)}を行っているが、頂版を四辺単純支持版にモデル化して検討するのが一般的である。

一方、頂版は覆道の構造形式によっては壁や柱で支持され、二辺単純支持や一辺単純支持+多点支持状態のものも多い。以上から、本文ではRC製頂版の耐衝撃設計法の確立を目的として、重要な基礎データである局所荷重が静的に作用した場合のRC版の押抜きせん断性状を支持条件および版厚を変化させた全9体の試験体を用いて検討した。支持条件は四辺支持と二辺支持および一辺+二隅角点支持の3種類とした。また、版厚は下端鉄筋の芯かぶりを40mmとし、有効高さを3種類に変化させて設定した。

2. 実験概要

表-1に本実験に用いたRC版の一覧を示す。試験体数は支持条件3種類、版厚3種類の合計9体である。試験体名の第一項目は支持条件(S4:四辺支持、S2:二辺支持、S1:一辺+二隅角点支持)を示し、第二項目は版厚を示している。なお、コンクリートの圧縮強度は26.2~32.0MPa、用いた鉄筋はD13またはD16で降伏強度は各々393MPaお

よび389MPaであった。

図-1に試験体の形状寸法と配筋および支持状況と鉄筋に貼りつけた歪みゲージの位置を示す。実験に用いたRC版は寸法が2,000×2,000mmで版厚が150, 180, および210mmの単鉄筋RC版である。鉄筋は、版厚150mmでD13、それ以上の版厚ではD16を用い、版中央部より150mm間隔で格子状に配置した。鉄筋比はH180試験体で1.1%であり、その他は0.9%である。各支持部は、支持条件によらずRC版の浮き上がりを貫通ボルトとナットを用いて拘束している。また、各辺の支点間隔はいずれも1.75mであり、各辺の支持部は回転を許容するピン支持に近い境界条件となっている。なお、二隅角点支持部は全方向に回転可能な構造となっている。静荷重の載荷位置はRC版の中央

表-1 実験ケース一覧

試験体名	支持条件	版厚(mm)
S4-H210	四辺支持	210
S4-H180		180
S4-H150		150
S2-H210	二辺支持	210
S2-H180		180
S2-H150		150
S1-H210	一辺+二隅角点支持	210
S1-H180		180
S1-H150		150

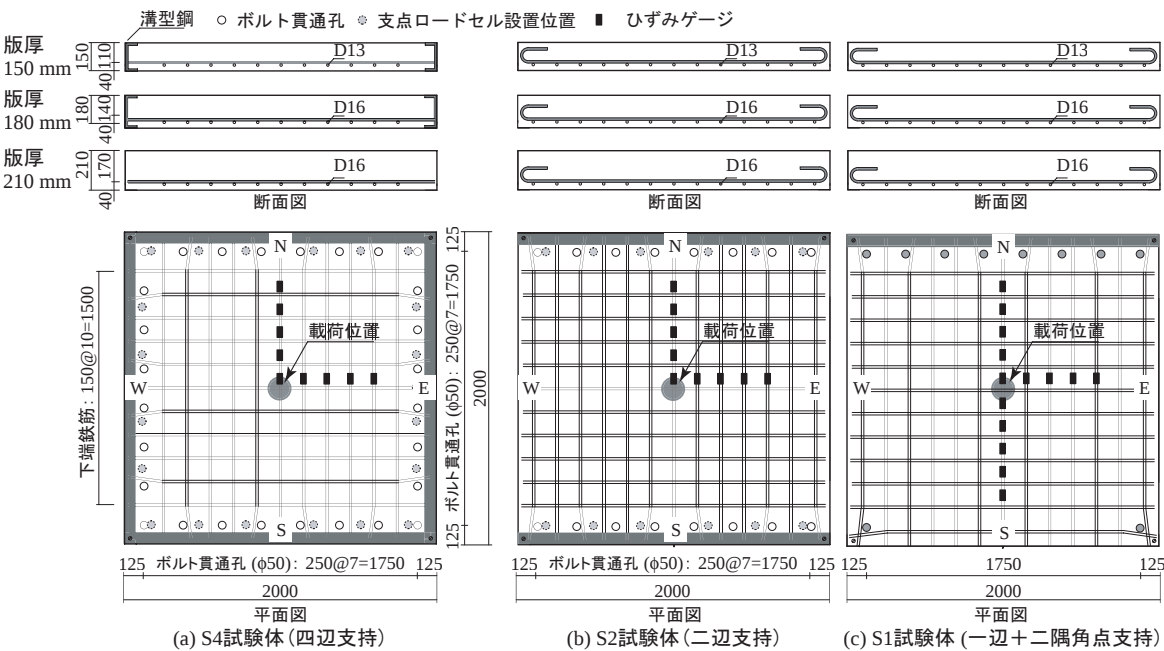


図-1 試験体の形状寸法、配筋状況、支持状況およびゲージ位置

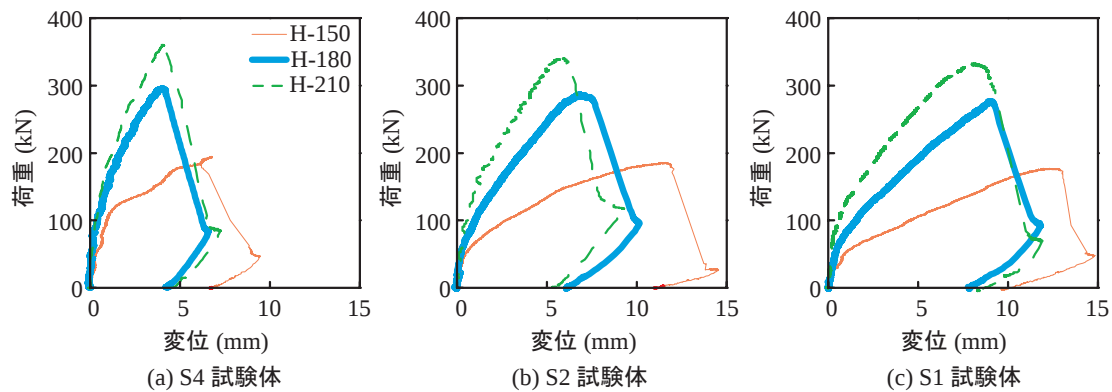


図-2 荷重-変位関係(支持条件比較)

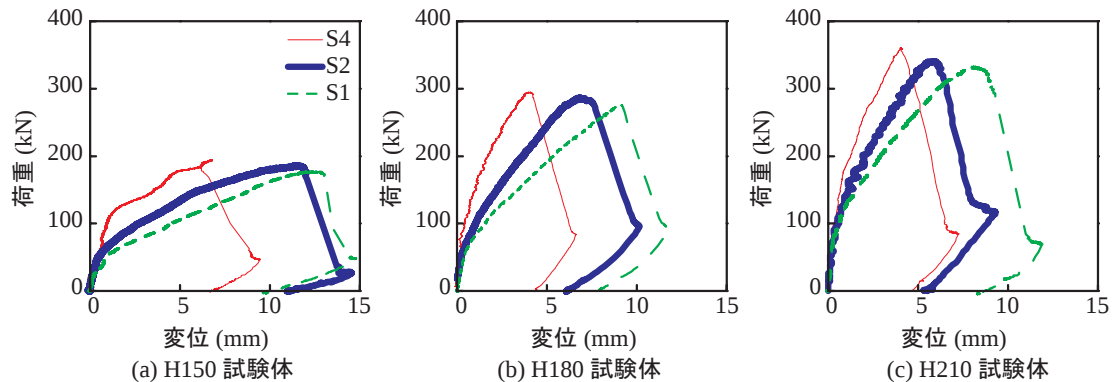


図-3 荷重-変位関係(版厚比較)

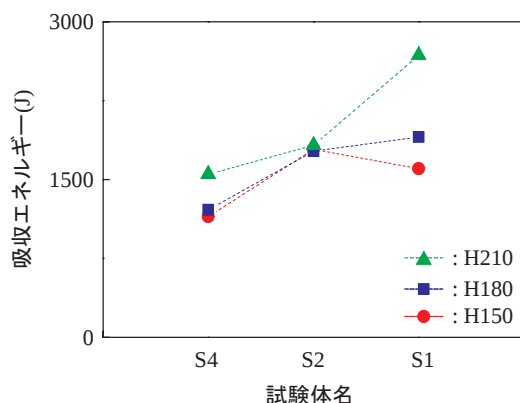


図-4 各試験体の吸収エネルギー

とし、載荷版の直径は 90 mm である。測定項目は載荷荷重 P と載荷点直下の変位および鉄筋のひずみ分布である。実験終了後には RC 版の裏面に発生したひび割れをトレースしてひび割れ図を作成した。

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-2 に各支持条件における試験体の荷重-変位関係を版厚ごとに示した。図より、支持条件や版厚にかかわらず、いずれの試験体も最大荷重到達後、荷重が一気に低下して破壊していることから、押抜きせん断破壊に至ったことが伺われる。また、支持条件に関わらず、最大荷重は版厚が厚いほど大きくなり、最大荷重時変位は版厚が薄いほど大きくなることからわかる。なお、支持条件にかかわらず H210 と H180 試験体間の最大荷重および最大荷重時変位の差異は、H180 と H150 試験体間の差異よりも小さく、特に H150 試験体は最大荷重が小さく最大荷重時変位が大きい。また、

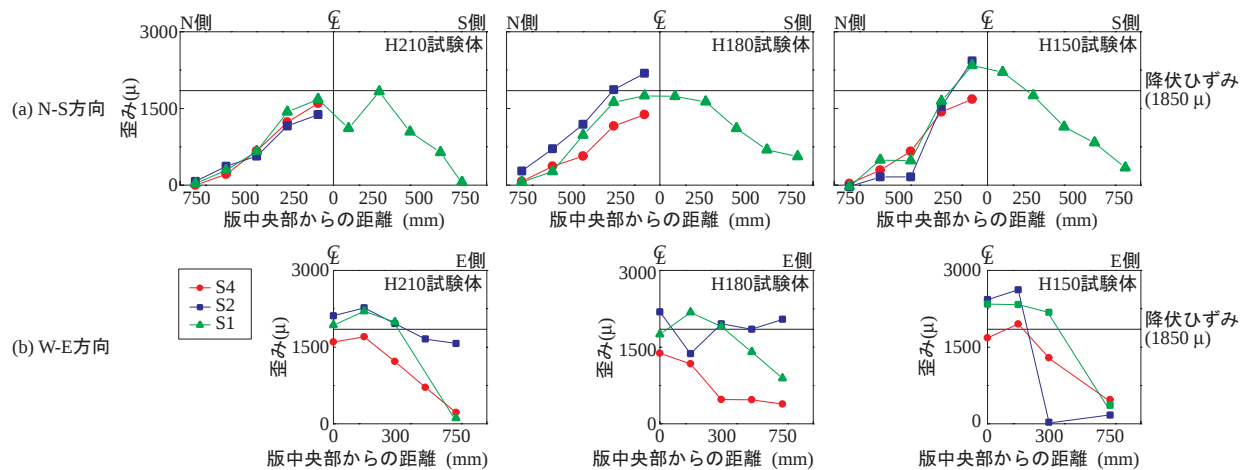
ひび割れ発生による剛性勾配の低下は支持条件にかかわらず版厚が薄いほど顕著である。

図-3 に各版厚における試験体の荷重-変位関係を支持条件ごとに示した。図から、版厚に関わらず最大荷重は S1 試験体で多少小さいものの大略同程度であることがわかる。一方、最大荷重時変位は版厚に関わらず S1 試験体で最も大きく、次いで S2、S4 試験体であり、四辺支持版がもっとも最大荷重時変位が小さい。この傾向は版厚が薄いほど顕著に認められる。また、ひび割れ発生後における剛性勾配は版厚に関わらず S1 試験体でもっとも小さく、次いで S2、S4 試験体であるが、いずれの支持条件でも剛性勾配は版厚が増加するほど増大する傾向にある。

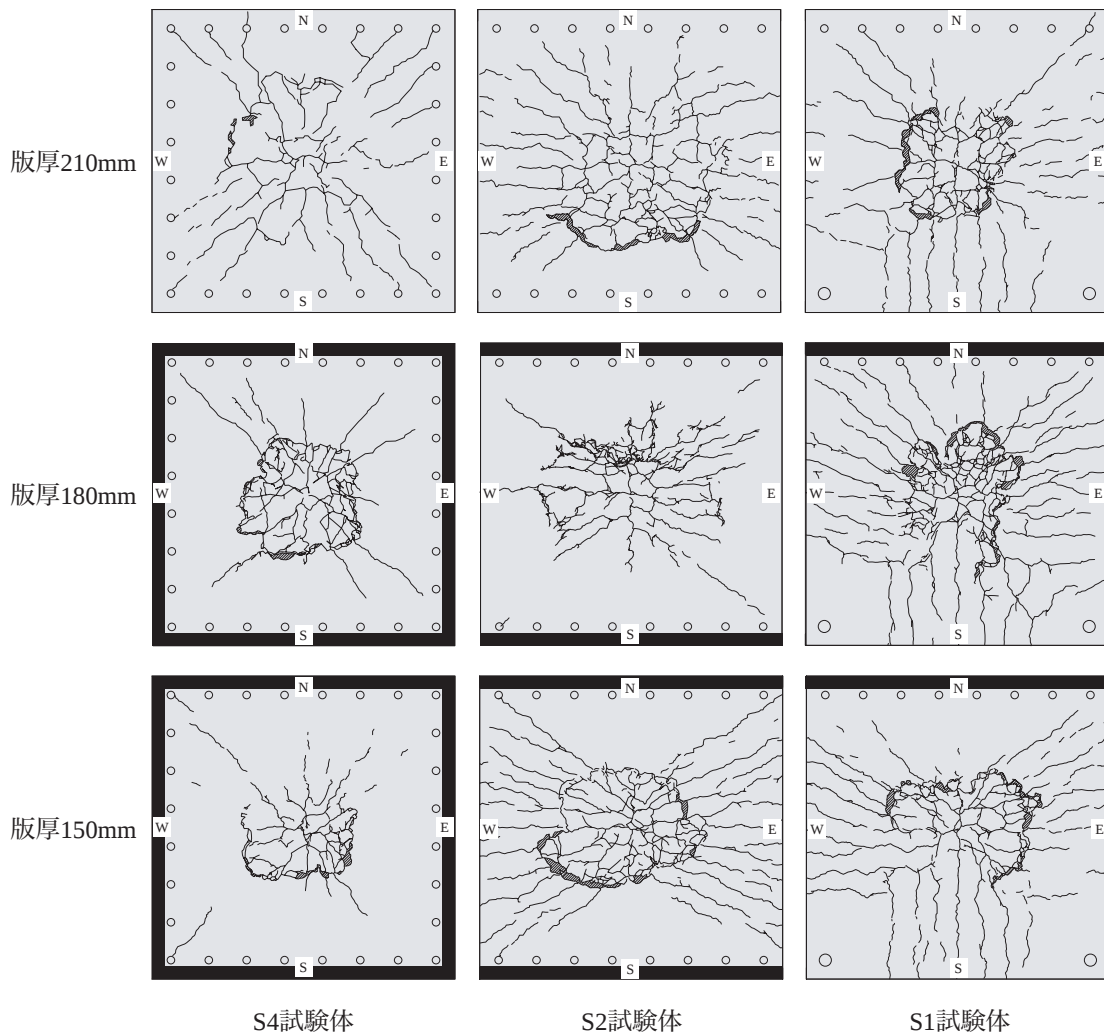
3.2 吸収エネルギー

図-4 に荷重-変位関係を積分して求めた吸収エネルギーを支持条件と版厚の影響に着目して整理した。図より、同じ支持条件では S2 試験体を除いて版厚が厚いほど吸収エネルギーが大きくなる傾向にあるものの S2 試験体では版厚の影響が顕著ではないことがわかる。また、版厚に関わらず吸収エネルギーは S4 試験体で最も小さく、S1 試験体は版厚によって吸収エネルギー量が大きく変動していることがわかる。すなわち、S1-H210 試験体は S2-H210 試験体よりも吸収エネルギーが 1.5 倍以上大きい一方で、S1-H180 および H150 試験体の吸収エネルギーは S2 試験体のそれらと大略同程度である。

このように、支持条件や版厚は RC 版の吸収エネルギーに影響を及ぼすものの、いずれの版厚でも S4 試験体の吸収エネルギーがもっとも小さい。これは、四辺支持のために曲げによる変形量が小さいためと考えられる。また、S1 試験体の吸収エネルギーが版厚の厚い場合に大きいのは、



図－5 鉄筋のひずみ分布性状



図－6 荷重終了後の版裏面のひび割れ性状

曲げ剛性の増大によって最大荷重および最大荷重時変位が大きく増加したためと考えられる。

3.3 鉄筋のひずみ分布性状

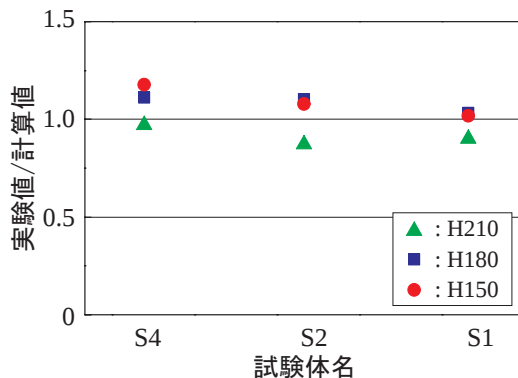
図－5 に各試験体の最大荷重時における鉄筋各点のひずみ分布を示す。(a) 図は N-S 方向分布, (b) 図は W-E 方向分布を示している。(a) 図より, S4 試験体を除く試験体では版厚の薄い H150 試験体の荷重点近傍にひずみが集中し, 一部の鉄筋ひずみが降伏ひずみ ($1,850 \mu$) を超過していること

がわかる。一方, 版厚の厚い H210 試験体では支持条件にかかわらず同様なひずみ分布性状を示し, いずれの試験体の終局時でも降伏ひずみには至っていないことがわかる。

(b) 図から, H150 試験体を除いて W-E 方向における荷重点直下周辺へのひずみの集中は顕著でないことがわかる。ただし, H150 試験体のひずみは N-S 方向と同様に S4 試験体に比べて S1, S2 試験体で大きく, 一部で降伏ひずみを超えている。W-E 方向のひずみは全般的に S4 試験体で小

表－2 各試験体の押抜きせん断耐力

試験体名	版厚 210 mm			版厚 180 mm			版厚 150 mm		
	実測値 (kN)	計算値 (kN)	耐力比 (実測/計算)	実測値 (kN)	計算値 (kN)	耐力比 (実測/計算)	実測値 (kN)	計算値 (kN)	耐力比 (実測/計算)
S4	359.9	368.3	0.98	296.3	266.4	1.11	195.2	167.2	1.17
S2	340.6	387.7	0.88	292.2	265.9	1.10	186.0	173.5	1.07
S1	331.1	363.1	0.91	278.8	271.4	1.03	177.3	175.3	1.01



図－7 各試験体の押抜きせん断耐力比

さく、いずれの版厚でも降伏ひずみには至っていない。一方、S2およびS1試験体では、版厚が厚い試験体でも一部で鉄筋ひずみは降伏ひずみ以上となっている。

3.4 ひび割れ性状

図－6に実験終了後におけるRC版裏面のひび割れ性状を示す。図より、支持条件や版厚に関わらず不完全な場合もあるが円形状のひび割れが発生していることから、全ての試験体は押抜きせん断破壊したことが伺われる。S4試験体のひび割れは、対角線状と円形状が中心であるが、版厚が薄くなると対角線状のひび割れが少なくなる傾向にある。S2試験体には水平ひび割れと対角線状のひび割れおよび円形状のひび割れが発生し、版厚がもっとも薄いH150試験体では対角線状と円形状のひび割れが明瞭に形成されている。

S1試験体には、いずれの版厚でも2方向の水平ひび割れと支持辺近傍の対角線状のひび割れおよび円形状のひび割れが発生している。また、版厚の厚いH210試験体では、他の版厚に比べて円形状ひび割れが明瞭に形成されている。ただし、円形状ひび割れ以外のひび割れには、版厚による差異は顕著ではない。すなわち、S1試験体の押抜きせん断破壊は他の支持条件と異なり、試験体の版厚が厚い場合に明瞭に出現すると考えられる。これは、曲げ変形が卓越しやすい支持条件であるものの、版厚が厚いことで曲げ剛性が大きくなり押抜きせん断破壊に至ったためと推察される。そのため、前述したようにS1-H210試験体の吸収エネルギーが大きくなったものと考えられる。

3.5 押抜きせん断耐力

表－2に実測および計算押抜きせん断耐力の一覧を示す。表中には実測値を計算値で除した耐力比も示した。表中の計算押抜きせん断耐力はコンクリート標準示方書(設計編)⁴⁾に準拠して算出したもので、版厚には依存するものの支持条件には影響されない計算値である。なお、部材係数、材料係数はともに1.0とし、材料試験結果を用いて算定した。また、図－7には各試験体の耐力比を横軸に支持条件を取って整理した。表より、同じ版厚の場合には支持条件にかかわらず実測耐力は大略同等になるものの、S4、S2、S1試験

体の順にすこしづつ小さくなっていることがわかる。

また、図－7より、実測耐力を計算耐力で除した耐力比はH210試験体では支持条件にかかわらず1.0を下回り、特にS2、S1試験体では計算耐力が実測耐力を過大に評価する傾向が認められる。それよりも薄い版厚では、支持条件にかかわらず1.0を上回っており、計算耐力は実測耐力を安全側に評価していることがわかる。なお、耐力比は全般的にS1試験体で小さくなる傾向にある。

4. まとめ

落石覆道頂版部の性能照査型耐衝撃設計法を確立することを目的として、基礎的かつ重要な局所荷重が静的に作用した場合の押抜きせん断性状を実験的に検討した。検討は実際の構造形式に併せた支持条件として四辺支持、二辺支持および一辺支持＋二隅角点支持に着目し、併せて版厚の影響を検討した。実験に用いた載荷版の直径は90mmである。本検討の範囲内で明らかになった事項を要約すると以下の通りである。

- 1) RC版の破壊形式は支持条件や版厚にかかわらず押抜きせん断型である。
- 2) 最大荷重は支持条件に関わらず版厚が厚いほど大きい。一方、最大荷重時変位は支持条件に関わらず版厚が薄いほど大きい。
- 3) 最大荷重は版厚にかかわらずS1試験体で多少小さいものの大略同程度であり、支持条件が押抜きせん断耐力に及ぼす影響は顕著でない。
- 4) 吸収エネルギーは版厚にかかわらずS4試験体で最も小さい。
- 5) S4試験体の鉄筋は版厚にかかわらず降伏していない。一方、S1およびS2試験体では版厚が厚くても載荷点直下近傍の鉄筋が一部で降伏している。
- 6) 実測耐力を計算耐力で除した耐力比は版厚の厚い試験体で1.0を下回り、S1試験体の耐力比は全般的に他の試験体よりも小さい。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 矩形RC版の衝撃耐荷挙動に及ぼす重錘直径の影響, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.1034-1043, 2008.3
- 2) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 低速度衝撃を受ける四辺単純支持RC版の耐衝撃設計法に関する一提案, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.1327-1336, 2009.3
- 3) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: 支持条件の異なるRC版の静的および重錘荷重載荷実験, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.1160-1168, 2010.3
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], 2007年制定