

走行荷重が作用する道路橋RC床版の押抜きせん断耐力評価式

Evaluation Formula for the Punching Shear capacity of RC Slabs
in Highway Bridges Under Running Loads

阿部忠*, 木田哲量**, 水口和彦***, 川井 豊****

Tadashi Abe, Tetsukazu Kida, Kazuhiko Minakuchi and Yutaka Kawai

*博(工), 日本大学教授 生産工学部土木工学科(〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

**工博, 日本大学教授 生産工学部土木工学科(〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

***博(工), 日本大学助教 生産工学部土木工学科(〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

****工博, 日本エンジニアリング(株)(〒 230-0046 神奈川県横浜市鶴見区小野町 61-1)

The authors conducted a punching shear test using three types of reinforced concrete (RC) slab test specimens to evaluate the out-of-plane shear load-carrying capacity of RC slabs in Highway Bridge under running loads. The authors proposed a punching shear dynamic model and an evaluation formula for punching shear load-carrying capacity based on the failure conditions and the strain in reinforcing bars. As a result, the punching shear-load carrying capacities near the yield strength, plastic zone, and fracture load calculated from the evaluation formula based on the model were in good agreement with experimental values. The appropriateness of the evaluation formula for the out-of-plane shear load-carrying capacity was assessed.

Key words: RC Slab, Running Load, Punching Shear dynamic model, Punching Shear capacity

キーワード: RC床版, 走行荷重, 押抜きせん断力学モデル, 押抜きせん断耐力

1. はじめに

鋼道路橋 RC 床版においては, 要求性能を明確にするために性能照査型設計法の構築が進められている^{1), 2)}. その基本性能としては, 安全性, 使用性, 社会・環境への適合性の 3 つの性能を定めている. そして, 安全性を具体的に確保するための性能として, 耐力性能, 疲労耐久性能, 材料耐久性能が位置づけられ, その設計手法の具体化が進められている. また, 道路橋 RC 床版の耐力性能評価の 1 つとして, 面外せん断力についての照査が検討されている³⁾. 一般的に, 道路橋 RC 床版の面外せん断力の評価としては押抜きせん断耐力が挙げられる. 道路橋 RC 床版を対象とした押抜きせん断耐力評価式に関しては, 松井らが輪荷重走行による疲労実験を行い, はり状化した RC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐力式を提案している^{4), 5)}. また筆者らは, 走行荷重が作用する RC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび押抜きせん断耐力式を提案するとともに, 押抜きせん断耐力式に適用するコンクリートのせん断強度式についても提案し, 実験耐力力との整合性を評価している⁶⁾. ここで, 両者の提案する押抜きせん断力学モデルおよび押

抜きせん断耐力式は, 破壊荷重付近を想定したものであることから, 筆者らはさらに静荷重実験を行い, 静荷重が作用する RC 床版の押抜きせん断耐力を主鉄筋および配力筋の荷重とひずみの関係から降伏強度付近, 塑性域および破壊荷重付近の力学モデルと評価式を提案し, 実験値との妥当性を評価した⁷⁾. しかし, 道路橋 RC 床版は, かなり早い段階で貫通ひび割れが発生し, はり状化⁴⁾することから走行荷重を受ける面外せん断力に対する照査が必要である.

そこで本研究では, 走行荷重を受ける道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力を理論的に評価することを目的として, 主要因であるコンクリートの圧縮強度, 有効高, 鉄筋比の異なる RC 床版供試体を用いて走行荷重実験, 走行一定荷重実験を行った. この実験結果から押抜きせん断力学モデルの提案と荷重とひずみの関係から主鉄筋が降伏する荷重付近, 塑性域および破壊荷重付近の押抜きせん断耐力式を提案し, 実験値との妥当性を評価する. また, 土木学会共通試験⁸⁾における押抜きせん断耐力と比較考察し, RC 床版における面外せん断力の合理的な照査の確立, および疲労耐久性評価に適用する押抜きせん断耐力の算定法の一助とするものである.

2．供試体の使用材料・寸法および実験方法

供試体は、道示⁹⁾の規定に基づいて設計し、実験装置の輪荷重寸法（幅 250mm）に合わせて 1/2 モデルとした。本実験より提案する押抜きせん断力学モデルおよび耐力式の妥当性を評価するために、同一支間長で、床版厚、コンクリートの圧縮強度、鉄筋量の異なる供試体を製作した。

2.1 使用材料

鋼道路橋 RC 床版に使用するコンクリートの設計基準強度⁹⁾は $24\text{N/mm}^2 \sim 30\text{N/mm}^2$ の範囲とされていることから、この範囲の圧縮強度を考慮した示方配合とした。そこで、本供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20mm の粗骨材を使用した。鉄筋はタイプ¹⁾には SD295A の D10、タイプ²⁾には SD295A の D13 を用いた。タイプ¹⁾の供試体名称を -R-1, 2, 3, 4、タイプ²⁾を -R-1, 2 とし、タイプ³⁾を

-R-1, 2, 3, 4, 5, 6 および -CR-1, 2 とした。本実験に用いた材料の力学特性値を表 - 1 に示す。なお、タイプ¹⁾の R-1, 2、-R-3, 4 および R-5, 6 は、コンクリートの圧縮強度、供試体の製作日が異なることから区分して表示した。

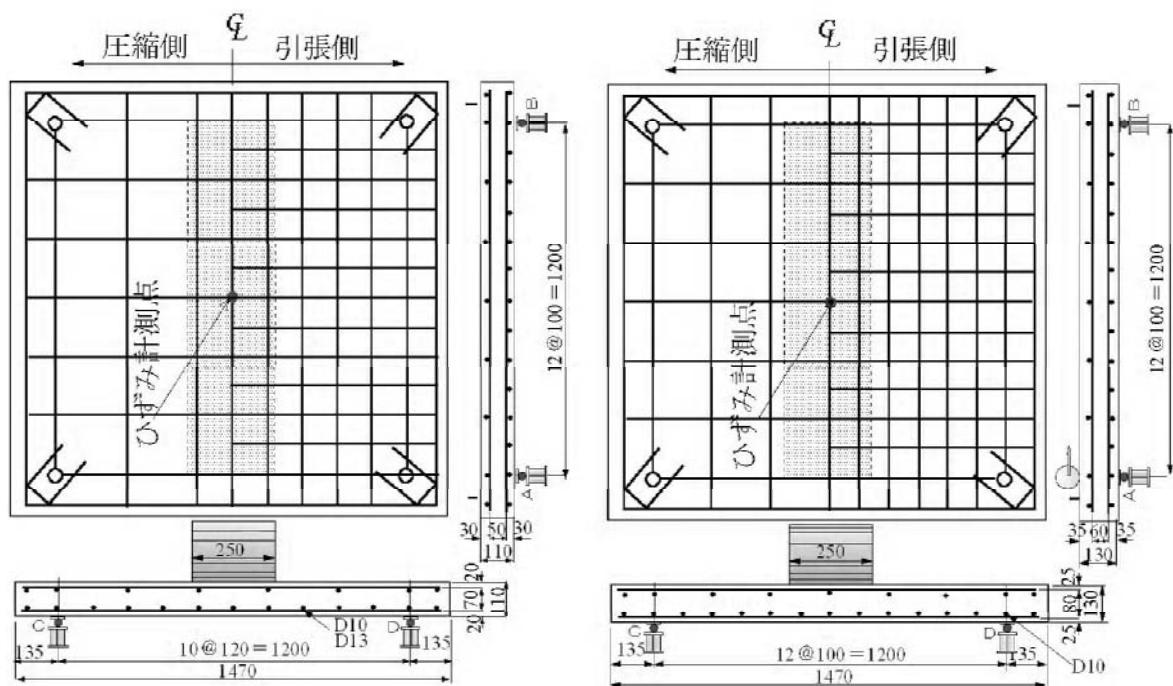
2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体の床版厚は、道示⁹⁾の規定に基づいて、タイプ¹⁾は大型自動車の 1 日 1 方向あたりの計画交通量が 500 台未満、タイプ²⁾は 2000 台以上を想定して決定した。また、鉄筋の配置は、床版支間に対する設計曲げモーメントから鉄筋量を算出して、その 1/2 モデルとした。RC 床版供試体は、4 辺単純支持とすることから正方形版とし、材料特性値および供試体概要を表 - 1、寸法と鉄筋の配置を図 - 1 に示す。供試体の詳細は以下のとおりである。

タイプ¹⁾供試体は、全長を 147cm、支間 120cm、床版厚さ 11cm の等方形版とし、鉄筋は複鉄筋配置とした。

表 - 1 材料特性値および供試体概要

供試体	コンクリート 圧縮強度 N/mm^2	鉄 筋 (SD295A)				設計支 間 mm	床版厚 mm	有効高		1 m^2 当たりの鉄筋量	
		使用鉄筋	降伏強度 N/mm^2	引張強度 N/mm^2	ヤング係数 kN/mm^2			主鉄筋 mm	配力筋 mm	主鉄筋 $A_s(\text{mm}^2)$	配力筋 $A'_s(\text{mm}^2)$
-R-1, 2, 3, 4	30.0	D10	365	510	200	1200	110	90	80	713	592
-R-1, 2	27.0	D13	371	506	200	1200	110	90	80	1267	1052
-R-1, 2	21.0	D10	370	511	200	1200	130	105	95	713	713
-R-3, 4	32.0	D10	370	511	200	1200	130	105	95	713	713
-R-5, 6	35.0	D10	368	516	200	1200	130	105	95	713	713
-CR-1, 2	32.0	D10	370	511	200	1200	130	105	95	713	713



(1)タイプ¹⁾

(2)タイプ²⁾

図 - 1 供試体寸法および鉄筋配置

引張側鉄筋の軸直角方向は D10 を 10cm 間隔で配置し，軸方向は 12cm 間隔で配置した．有効高さは，それぞれ 9cm，8cm とする．また，圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した．

タイプ 供試体は，寸法・鉄筋間隔および有効高さはタイプ の供試体と同様であるが，鉄筋径は D13 を用いた．

タイプ 供試体は，全長および支間はタイプ と同様で全長を 147cm，支間 120cm であり，床版厚を 13cm とした．鉄筋は複鉄筋配置とし，引張側の軸直角方向および軸方向に D10 を 10cm 間隔で配置し，有効高さはそれぞれ 10.5cm，9.5cm とした．また，圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置する．

3．実験方法

道路橋 RC 床版に作用する大型車両の荷重状態には，走行と停止を繰り返す状態と，一定な荷重で連続的に走行する状態が想定される．そこで本実験では，輪荷重が支間中央から走行し，元の支間中央で停止した状態の実験を走行荷重実験，支点間を連続走行した状態での実験を走行一定荷重実験とし，実験方法は以下のとおりである．なお，本実験は走行荷重が作用した場合の最大耐荷力を評価するための実験であり，疲労実験とは異なるものである．また，支持条件は浮き上がり防止を設けない 4 辺単純支持とし，支点材長は床版支間 1200mm に対して 1000mm とする．

3.1 走行荷重実験(R)

走行荷重実験は，走行荷重が作用した場合に，静荷重実験の耐荷力に比して，耐荷力の低下が最も著しい支間中央から両支点方向へ 1 往復走行させて，元の支間中央で停止させた実験である¹⁰⁾．まず，RC 床版の支間中央に車輪を停止させ，荷重載荷後に軸方向に走行し，両支点を折り返し，元の支間中央で停止させる．走行速度の平均は 1 往復 2.4m を 13sec で走行する 0.18m/s とした．荷重の大きさは，1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした．走行範囲を図 - 1 に示した．

3.2 走行一定荷重実験(CR)

走行一定荷重実験は，供試体の支点 A に車輪を停止し，支点 A から支点 B を折り返す 1 往復走行させる実験である．本実験における走行速度の平均は 1 往復 2.4m を 13sec で走行する 0.18m/s とした．荷重の大きさは，1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした．

4．実験結果

4.1 RC床版の実験耐荷力

本実験における RC 床版の実験耐荷力および破壊モー

表 - 2 実験耐荷力および破壊モード

供試体 (使用鉄筋)	実験最大耐 荷力 (kN)	平均耐荷 力(kN)	破壊モード
-R-1(D10)	126.2	126.7	押抜きせん断破壊
-R-2(D10)	125.8		押抜きせん断破壊
-R-3(D10)	130.2		押抜きせん断破壊
-R-4(D10)	124.8		押抜きせん断破壊
-R-1(D13)	149.2	149.7	押抜きせん断破壊
-R-2(D13)	150.3		押抜きせん断破壊
-R-1(D10)	140.1	140.4	押抜きせん断破壊
-R-2(D10)	140.8		押抜きせん断破壊
-R-3(D10)	170.0	170.2	押抜きせん断破壊
-R-4(D10)	170.4		押抜きせん断破壊
-R-5(D10)	172.5	172.0	押抜きせん断破壊
-R-6(D10)	171.5		押抜きせん断破壊
-CR-1(D10)	185.0	182.7	押抜きせん断破壊
-CR-2(D10)	180.4		押抜きせん断破壊

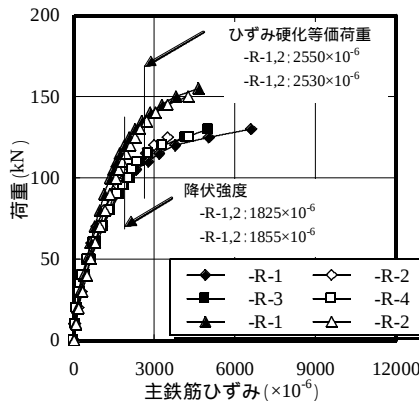
ドを表 - 2 に示す．なお，走行荷重・走行一定荷重実験における最大耐荷力とは，一往復を維持し得た最大荷重とする．

走行荷重実験における最大耐荷力の平均値は，タイプ の場合は 126.7kN，タイプ の場合は 149.7kN である．タイプ は鉄筋量をタイプ の約 1.8 倍配置したが耐荷力は 1.18 倍となった．また，タイプ の最大耐荷力の平均値は，供試体 -R-1，2 は 140.4kN，供試体 -R-3，4 の場合は 170.2kN，供試体 -R-5，6 の場合は 172.0kN である．コンクリートの圧縮強度が 21N/mm^2 の供試体 -R-1，2 に比してコンクリートの圧縮強度が 32N/mm^2 の供試体 -R-3，4 は約 1.2 倍の耐荷力が上回った．

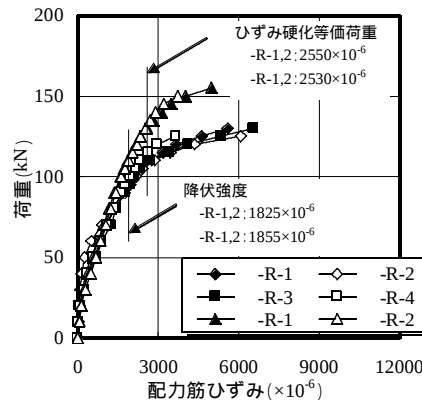
次に，走行一定荷重実験を行った供試体 -CR の最大耐荷力の平均は 182.7kN であり，供試体 -R の平均値に比して約 7% 上回っている．これは，供試体 -R は支間中央から走行させ，両支点間を走行させて元の支間中央に戻る実験方法であるのに対して，供試体 -CR は支点間を連続走行させる実験方法であることによる差であって，破壊の生じる支間中央付近を 0.18m/s で通過するため耐荷力が上回ったものである．したがって，面外せん断力に対する照査は走行荷重実験の最大耐荷力から評価することとする．なお，走行荷重実験および走行一定荷重実験における破壊モードは全て押抜きせん断破壊となった．

4.2 荷重とひずみの関係

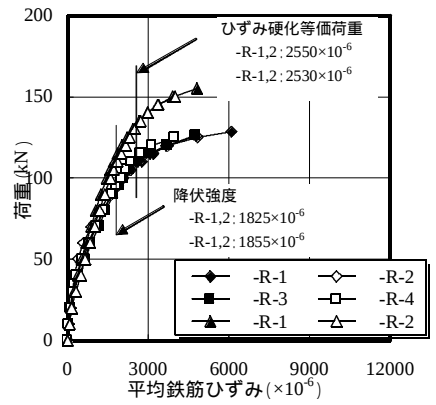
本実験における供試体中央に配置した主鉄筋および配力筋の荷重とひずみの関係をタイプ ， の場合を図 - 2(1)，タイプ の場合を図 - 2(2) に示す．なお，本実験における引張鉄筋の降伏ひずみは，表 - 1 に示した材料特性値より算出するとタイプ が 1825×10^{-6} ，タイプ が 1855×10^{-6} である．また，タイプ の場合は -R-1 ～ 4 と -CR-1，2 が 1850×10^{-6} ， -R-5，6 が 1840×10^{-6} である．この降伏ひずみと荷重の関係等から降伏荷重付近の押抜きせん断力学モデルと耐力式を提案する．



1) 主鉄筋

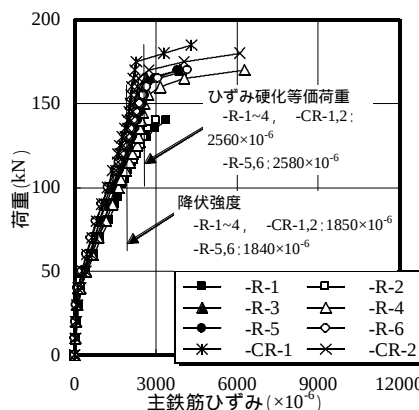


2) 配力筋

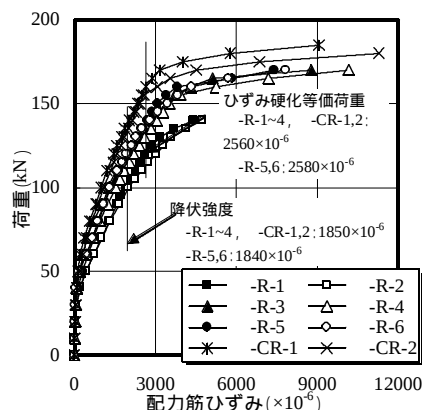


3) 主鉄筋と配力筋の平均

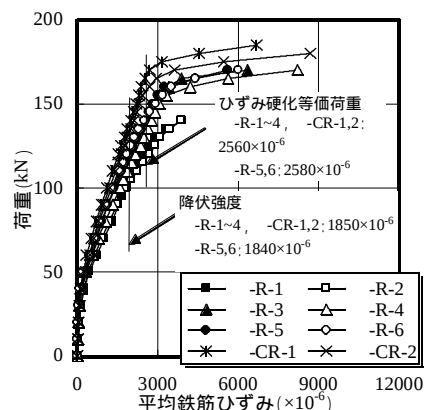
(1) タイプ



1) 主鉄筋



2) 配力筋



3) 主鉄筋と配力筋の平均

(2) タイプ

図 - 2 荷重とひずみの関係

次に、鉄筋降伏荷重到達以降、鉄筋ひずみが急増する荷重を、床版の塑性域における挙動を代表する荷重として以下のように考える。すなわち、図 - 2に示す荷重と鉄筋のひずみの関係をみると、鉄筋のひずみは降伏ひずみを超えた塑性域においてもしばらくは急激なひずみの増加は生じず、その後、ある程度荷重が増加した時点でひずみが急増しているのが認められる。これは鉄筋単体の引張試験の場合には、降伏後はひずみ硬化ひずみ(ϵ_{sh})に達するまで急激に増加するが、複数の鉄筋が配置される RC 床版内の鉄筋の場合は、周辺の弾性域内にある鉄筋の拘束などにより、降伏した鉄筋はその後の荷重増加に対して、あたかもひずみ硬化等価ひずみに達したような挙動を示すと考えられる。そこで、本研究においては、表 - 1 に示す材料特性値の引張強度をヤング係数で除して得られるひずみを、ひずみ硬化等価ひずみ $\epsilon_{sh}' (= \sigma_u/E, \sigma_u$: 引張強度(表 - 1), E : ヤング係数) とし、このひずみにおける荷重をひずみ硬化等価荷重と便宜上定義する。本研究に用いた鉄筋のひずみ硬化等価ひずみは、タイプ が 2550×10^{-6} 、タイプ が 2530×10^{-6} である。また、タイプ の場合は -R-1 ~ 4 と -CR-1, 2 が

2560×10^{-6} 、-R-5, 6 が 2580×10^{-6} である。このひずみ値と荷重の関係からひずみ硬化等価荷重付近に達した場合の押抜きせん断力学モデルと耐力式を提案する。

(1) 主鉄筋のひずみ

主鉄筋のひずみは図 - 2(1)1)より、タイプ は荷重 90kN 付近で降伏ひずみに達し、荷重 105kN 付近でひずみ硬化等価荷重に達している。その後の荷重増加においてもひずみは線形的に増加した。また、タイプ の場合はひずみの降伏荷重は 110kN であり、その後、破壊荷重付近まで線形的に増加している。タイプ はタイプの約 1.8 倍の鉄筋量を配置したことから降伏ひずみに達する荷重も 1.22 倍となっている。次に、タイプ の場合も図 - 2(2)1)に示すように、コンクリートの圧縮強度が 21N/mm^2 の供試体 -R-1, 2 のひずみの降伏荷重は 95kN であり、ひずみ硬化等価荷重に達した荷重 115kN 付近まで線形的に増加するが、その後の荷重増加ではひずみの増加が著しい。供試体 -R-3, 4 のひずみの降伏荷重は 110kN、-R-5, 6 の場合は荷重 115kN 付近であり、荷重 155kN 付近まではひずみは線形的に増加し、その後の荷重増加ではひずみの増加が著しい。次に、供試体

-CR は荷重 125kN 付近で降伏ひずみに達するものの、荷重 165kN 付近までは線形的にひずみの増加がみられ、その後の荷重増加で急激にひずみが増加している。

(2) 配力筋のひずみ

配力筋の引張りひずみは図 - 2(1)2)より、タイプ , ともにひずみ硬化等価荷重まではほぼ線形的に増加するが、その後の荷重増加においてはひずみの増加が著しい。

次に、タイプ の場合の供試体 -R-1, 2 のひずみの降伏荷重は 105kN であり、ひずみ硬化等価荷重に達するまでは線形的に増加し、その後荷重 130kN 付近からひずみの増加が大きい。供試体 -R-3, 4 の降伏荷重は 110kN であり、その後の荷重増加に対してひずみはわずかに増加するものの線形的なものとなっており、荷重 160kN 付近からひずみの増加が著しくなった。

(3) 主鉄筋と配力筋の平均ひずみ

理論耐力式を解析するためには、引張側の主鉄筋および配力筋の荷重とひずみの関係を考慮した押抜きせん断耐力を評価する必要がある。しかし、解析が煩雑になることから主鉄筋と配力筋のひずみの平均値から、弾性域の最大荷重付近、すなわち降伏荷重付近、さらに塑性域であるひずみ硬化等価荷重付近および破壊荷重付近を想定して理論耐力との妥当性を評価することとする。ここで、主鉄筋と配力筋のひずみの平均値を図 - 2, 3)に示す。

図 - 2(1)3)および(2)3)より、降伏荷重は供試体 -R-1, 2, 3, 4 で、それぞれ 90kN, 95kN, 90kN, 95kN であり、供試体 -R-1, 2 は、105kN である。タイプ における供試体 -R-1, 2 は、100kN、供試体 -R-3, 4 はそれぞれ 115kN, 110kN、供試体 -R-5, 6 がそれぞれ 115kN, 120kN である。また、供試体 -CR-1, 2 はそれぞれ 130kN, 125kN である。

次に、ひずみ硬化等価荷重は供試体 -R-1, 2 が 105kN、供試体 -R-1, 2 は 130kN である。タイプ における供試体 -R-1, 2 は、それぞれ 120kN, 115kN、供試体 -R-3, 4 は、それぞれ 130kN, 135kN、-R-5, 6 は 140kN である。また、供試体 -CR-1, 2 は、それぞれ 165kN, 155kN である。

面外せん断に対する押抜きせん断耐力式を提案する場合は、荷重とひずみの関係から、鉄筋が降伏する荷重、ひずみ硬化等価荷重付近および破壊荷重付近に分けて、それぞれ評価する必要があるが、現状においては荷重とひずみの関係とは比較されていない。そこで、面外せん断に対する走行荷重が及ぼす場合の押抜きせん断耐力を評価するためには、荷重と平均ひずみの関係から、降伏荷重・ひずみ硬化等価荷重および破壊荷重付近の荷重と近似する、それぞれの押抜きせん断力学モデルおよび押抜きせん断耐力式を提案するものとする。

5. 走行荷重が作用するRC床版の押抜きせん断耐力

道路橋 RC 床版を対象とした理論押抜きせん断耐力に

関しては、多くの研究者が実験研究成果から、押抜きせん断耐力式を提案しているが、これらの多くは静荷重実験による研究成果である。走行荷重が作用する RC 床版の押抜きせん断耐力に関しては、松井らによる輪荷重の走行疲労実験によるはり状化した RC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐力式が用いられている^{4, 5)}。また筆者らは、一走行ごとに荷重を増加する走行荷重実験を行って破壊状況と最大耐力から実験値と近似する破壊荷重付近の押抜きせん断力学モデルと耐力評価式を提案している⁶⁾。しかし、鋼道路橋 RC 床版の性能照査型設計法における面外せん断力の照査は、引張主鉄筋が降伏強度に達した付近の耐力を評価することが望ましい。よって、筆者らが提案した押抜きせん断力学モデル⁷⁾を修正し、新たな知見を加えた押抜きせん断力学モデルおよび押抜きせん断耐力式を提案する。

5.1 はり状化後の押抜きせん断耐力⁵⁾

道路橋 RC 床版の輪荷重走行疲労試験による押抜きせん断耐力の評価式には松井らの提案式が採用されている。松井式は、昭和 39 年と昭和 55 年の道示に準拠した RC 床版供試体を用いて大阪大学のクランク式鉄輪の実験結果に基づく実験式であり、これは輪荷重の走行によって発生する貫通ひび割れによって形成されるはり状化された幅「はり幅 B」のせん断耐力を算定する式である。はり幅 B は載荷ブロック走行方向の幅 b が引張側配力筋の有効高さ d_d まで 45 度で分布するとしたものであり、はり幅を考慮した押抜きせん断力学モデル図 - 3を提案し、押抜きせん断耐力を式(1)として与えている。

$$P_{sx} = 2B(f_{cv0} \cdot X_m + f_t \cdot C_m) \quad (1)$$

$$B = b + 2d_d$$

$$f_{cv0} = 0.252f_c - 0.00251f_c^2$$

$$f_t = 0.269f_c^{2/3}$$

ここで、 P_{sx} ：はり幅を考慮した押抜きせん断耐力(kN)、 B ：はり幅、 b ：輪荷重の軸方向の辺長、 X_m ：使用限界状態における主鉄筋方向の中立軸の位置(mm)、 C_m ：引張主鉄筋のかぶり、 d_d ：配力筋の有効高さ、 f_{cv0} ：コンクリートのせん断強度(N/mm²)¹¹⁾、 f_t ：コンクリートの引張強度(N/mm²)¹²⁾、 f_c ：コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

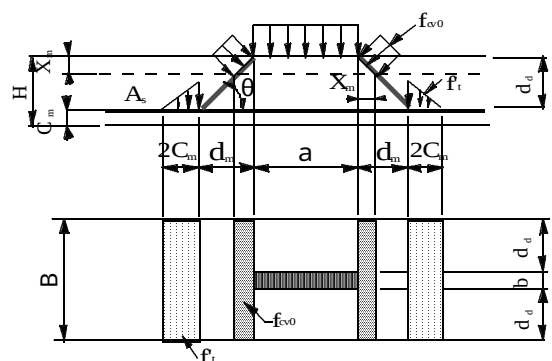


図 - 3 はり幅を考慮した押抜きせん断力学モデル

松井らが提案する力学モデルは、せん断破壊は輪荷重載荷位置から 45 度の傾斜で破壊し、その及ぼす範囲は、はり幅 B と主鉄筋方向の中立軸の位置 X_m にコンクリートのせん断強度 f_{cv0} が及ぼすものとして解析している。この場合の中立軸の位置 X_m は使用限界状態における中立軸の位置を用いている。せん断強度が及ぼす範囲は、輪荷重の配力筋方向の辺長 b がせん断強度に及ぼすものとし、軸直角方向の辺長 a は、全く考慮されていない。また、RC 床版における中立軸の位置は使用限界状態では圧縮鉄筋の下側付近であるのに対して、終局状態には圧縮鉄筋のかぶり内となる。

これらのことから筆者らは、RC 床版の上を直接輪荷重が走行した場合の押抜きせん断破壊状況から松井らが提案する力学モデルを修正した力学モデルおよび耐力式を提案してきた⁶⁾。本研究では、筆者らが提案した走行荷重が及ぼす押抜きせん断力学モデルおよびせん断耐力式を基に、次の 3 段階、すなわち 引張主鉄筋のひずみが降伏ひずみに達した付近、すなわち降伏荷重付近の押抜きせん断耐力 ($V_{cp,ly}$)、引張主鉄筋のひずみがひずみ硬化等価ひずみに達した付近、すなわちひずみ硬化等価荷重付近の押抜きせん断耐力 ($V_{cp,lu}$)、破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 ($V_{cp,max}$) を想定した力学モデルの提案と押抜きせん断耐力評価式を提案する。

5.2 走行荷重が作用する場合の押抜きせん断耐力

(1) 降伏荷重付近の押抜きせん断力学モデル・耐力式

降伏荷重付近の押抜きせん断耐力の算出には、まず引張主鉄筋と配力筋の荷重と平均ひずみの関係(図 - 2)より、鉄筋の降伏荷重付近の力学モデルを検討する。

松井ら^{4, 5)}は、コンクリートのせん断強度が及ぼす範囲を輪荷重接地面から 45 度に分布した中立軸の位置までとし、RC 床版がはり状化した幅に作用するとしている。また、RC 床版底面にはコンクリートのはく離破壊が広範囲にわたるためにダウエル効果の影響を主鉄筋のかぶりの 2 倍の幅としてモデル化している。そこで、本研究においてもコンクリートのせん断強度 f_{cv0} の影響およびダウエル効果によるコンクリートの引張強度 f_t の影響を考慮する。

ここで、供試体 -R-1 の破壊時における軸直角方向および軸方向の切断面の一例を図 - 4 に示す。

軸直角方向のひび割れは図 - 4(1)に示すように輪荷重の底面から約 45 度の傾斜角で引張鉄筋の位置まで発生し、また引張鉄筋のかぶり内はダウエル効果の影響によるはく離を呈し、その範囲はかぶり厚 C_x の 4 倍に達している。また、軸方向のひび割れは図 - 4(2)に示すように下縁から圧縮鉄筋の配置位置まで発生している。しかし、底面にはダウエル効果の影響によるはく離はみられない。なお、供試体 および の供試体も同様な破壊状況を示している。よって、走行荷重が作用する RC 床版の力学モデルは軸直角方向および軸方向の破壊状況を十

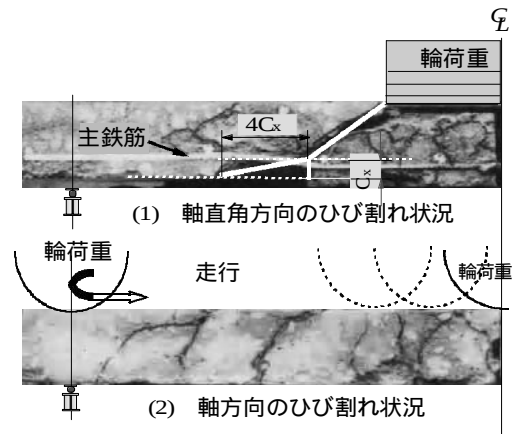


図 - 4 走行荷重実験における破壊状況の一例

分考慮して提案する。

コンクリートのせん断強度の影響を受ける面は、図 - 4 に示した破壊状況より、軸直角方向および軸方向の輪荷重の辺長から 45 度で下縁方向に分布している。そこで、コンクリートのせん断強度は、応力等価ブロックの大きさ a に作用するものとする。なお、コンクリートのせん断強度 f_{cv0} の算出には、筆者らの提案式⁹⁾を適用する。

終局限界状態における複鉄長方形断面の等価応力ブロックの大きさ^{13, 14)}は、圧縮鉄筋が降伏している場合および圧縮鉄筋が降伏していない場合について、それぞれ式 (2)、(3)として与えられている。

：圧縮鉄筋が降伏している場合

$$a = (A_s \cdot f_{yd} - A'_s \cdot f_{yd})d / (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d) \quad (2)$$

：圧縮鉄筋が降伏していない場合

$$a/d = m/2 \{ p - p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s / f_{yd}) + \sqrt{[p - p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s / f_{yd})]^2 + p' \cdot 4\beta / m \cdot d' / d \cdot \epsilon'_{cu} \cdot E_s / f_{yd}} \} \quad (3)$$

ただし、

$$m = f_{yd} / 0.85f_c, \quad p = A_s / (b \cdot d), \quad p' = A'_s / (b \cdot d)$$

ここで、 f_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度(=本研究では実験耐荷力と近似させることからコンクリートの圧縮強度 f_c を用いる (N/mm^2)), f_{yd} ：鉄筋の降伏強度 (N/mm^2), f_{yd} ：圧縮鉄筋の降伏強度 (N/mm^2), A_s ：引張側の鉄筋量, A'_s ：圧縮側の鉄筋量, d ：有効高さ ($= d_k$), d' ：圧縮縁から圧縮鉄筋の図心までの距離, b ：部材幅 ($= 100cm$), E_s, E'_s ：鉄筋のヤング係数, ϵ'_{cu} ：コンクリートの終局ひずみ

なお、応力等価ブロックの大きさ a は、主鉄筋方向を a_x 、配力鉄筋方向を a_y として、その平均値を $a(=(a_x + a_y)/2)$ として算定する。

ダウエル効果が及ぼす範囲を引張主鉄筋のかぶり内に設定し、耐力はその範囲にコンクリートの引張強度 f_t を乗して算出する。破壊時におけるダウエル効果が及ぼす分布面は、図 - 4より主鉄筋のかぶり C_x の 4 倍の範囲 $4C_x$ に及んでいる。しかし、降伏荷重付近におけるダウエル効果が及ぼす分布面は、かぶり内全面に及ぼすことはない。そこで、降伏荷重付近におけるダウエル効果を示す

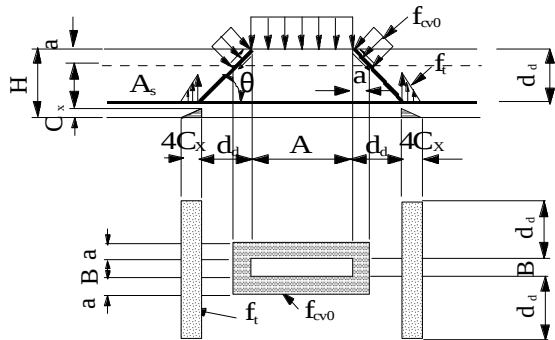


図 - 5 降伏荷重付近の押抜きせん断力学モデル

寸法効果 C_x は、引張鉄筋のかぶりの平均 C_d が影響を及ぼすことから、破壊時のかぶりを最大値とした場合に、引張主鉄筋のかぶり d_x と配力鉄筋のかぶり d_y の平均値 $C_d = (d_x + d_y)/2$ を補正する必要がある。また、鉄筋は引張強度 f_y に達した後、破断となることから降伏荷重付近は、降伏強度 f_{yd} を引張強度 f_y で除した値 ($= f_{yd}/f_y$) を補正值とする。この補正值を主鉄筋と配力筋のかぶりの平均 C_d に乗じ、これをダウエル効果を示す寸法効果 C_x とし、その 4 倍の三角荷重として作用させる。

走行荷重が作用する場合の降伏荷重付近の押抜きせん断耐力 ($V_{cp,fy}$) はコンクリートのせん断強度の影響による押抜きせん断耐力とダウエル効果の影響による押抜きせん断耐力を合計することによって得られる。よって、降伏強度付近の押抜きせん断力学モデルを図 - 5 に示し、押抜きせん断耐力式は、式(4)として与える。

$$\begin{aligned} V_{cp,fy} &= f_{cv0} \{ 2(B+2a)a + 2(A \times a) \} \\ &\quad + f_t \{ 4(2d_d+B)C_x \} \\ f_{cv0} &= 0.688f_c^{0.610} \quad f_c = 80\text{N/mm}^2 \\ f_t &= 0.269f_c^{2/3} \\ C_x &= C_d \cdot f_{yd}/f_y \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 A, B : 載荷版の主鉄筋、配力筋方向の辺長 (mm), a : 主鉄筋方向 a_x , 配力鉄筋方向 a_y の等価応力ブロックの平均値 $a = (a_x + a_y)/2$, C_x : ダウエル効果の影響を示す寸法効果 ($= C_d \cdot f_{yd}/f_y$ (mm)), H : 床版全厚 (mm), C_d : 主鉄筋のかぶり (d_x) と配力筋方向のかぶり (d_y) の平均 ($= (d_x + d_y)/2$), d_d : 主鉄筋の有効高さ (d_x) と配力筋方向の有効高さ (d_y) の平均 ($d_d = (H - C_d)$), f_t : コンクリートの引張強度 (N/mm^2)¹²⁾, f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

式(4)より算出した降伏強度付近の押抜きせん断耐力を表 - 3 に示す。

(2) ひずみ硬化等価荷重付近の押抜きせん断力学モデル・耐力式

ひずみ硬化等価荷重のコンクリートの押抜きせん断耐力は、降伏荷重付近の場合と同様にせん断応力度が等価応力ブロック a の範囲に及ぼす影響によるものとする。

降伏強度付近の等価応力ブロックの大きさの算出は鉄筋の降伏強度 f_{yd} を適用して算出したが、ひずみ硬化等価荷重付近の等価応力ブロックの大きさ a の算出には鉄

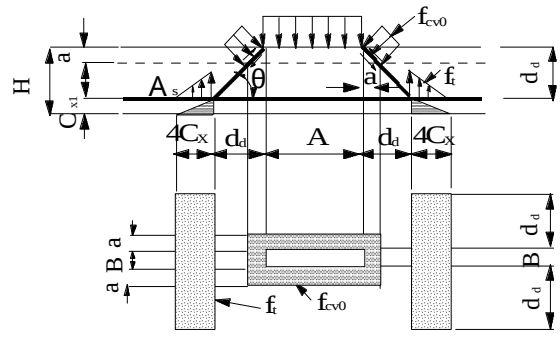


図 - 6 ひずみ硬化等価荷重付近・破壊荷重付近の押抜きせん断力学モデル

筋の引張強度 f_y を適用する。よって、RC 床版に配置した圧縮鉄筋が降伏した場合を式(5)、圧縮鉄筋が降伏していない場合は式(6)として与えられる。

: 圧縮鉄筋が降伏している場合

$$a = (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f_y) d / (0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d) \quad (5)$$

: 圧縮鉄筋が降伏していない場合

$$\begin{aligned} a/d &= m/2 \{ p - p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y) \\ &\quad + \sqrt{[p - p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y)]^2 + p' \cdot 4\beta/m \cdot d'/d \cdot \epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y} \} \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、

$$m = f_y / 0.85f_c, \quad p = A_s / (b \cdot d), \quad p' = A'_s / (b \cdot d)$$

ここで、 f_y : 鉄筋の引張強度 (N/mm^2), b : 部材幅

走行荷重が作用した場合のひずみ硬化等価荷重付近の押抜きせん断耐力 ($V_{cp, fu}$) はコンクリートのせん断強度 f_{cv0} の影響およびダウエル効果によるコンクリートの引張強度 f_t の影響を考慮する。

ひずみ硬化等価荷重付近におけるダウエル効果を示す寸法効果 C_x は、破壊時のかぶりを最大値として、引張主鉄筋のかぶり d_x と配力鉄筋のかぶり d_y の平均値 $C_d = (d_x + d_y)/2$ を補正する必要がある。また、鉄筋は引張強度 f_y に達した後、破断となることからひずみ硬化等価荷重付近は、引張強度 f_y と降伏強度 f_{yd} の中間値を考慮してダウエル効果を示す寸法効果とする。よって、ひずみ硬化等価荷重付近のダウエル効果を示す寸法効果 C_x は、主鉄筋のかぶり (d_x) と配力筋方向のかぶり (d_y) の平均 C_d に引張強度 f_y と降伏強度 f_{yd} の平均を引張強度 f_y で除した値 ($= \{(f_y + f_{yd})/2\}/f_y$) を係数として乗じて算出する。

よって、ひずみ硬化等価荷重付近の押抜きせん断力学モデルを図 - 6 に示し、押抜きせん断耐力式 ($V_{cp, fu}$) を、式(7)として与える。

$$\begin{aligned} V_{cp, fu} &= f_{cv0} \{ 2(B+2a)a + 2(A \times a) \} \\ &\quad + f_t \{ 4(2d_d+B)C_x \} \\ f_{cv0} &= 0.688f_c^{0.610} \quad f_c = 80\text{N/mm}^2 \\ f_t &= 0.269f_c^{2/3} \\ C_x &= C_d \times \{ (f_y + f_{yd})/2 \} / f_y \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)より算出したひずみ硬化等価荷重付近の押抜き

表 - 3 実験耐力および理論耐力

供試体 (鉄筋)	コンク リート	鉄筋		降伏強度付近の理論耐力				ひずみ硬化等価荷重付近の理論耐力				破壊荷重付近の理論耐力		
	圧縮強度 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	降伏荷 重(kN)	ひずみ ($\times 10^{-6}$)	理論耐 荷力(kN)	耐力比	ひずみ 硬化等 価荷重 (kN)	ひずみ ($\times 10^{-6}$)	理論耐 荷力 (kN)	耐力比	実験最大 耐力 (kN)	理論耐 荷力 (kN)	耐力比
-R-1(D10)	30.0	365	510	90	1636	85.7	1.05	105	2359	101.1	1.04	128.2	122.5	1.05
-R-2(D10)				95	1805		1.11	105	2280		1.04	125.8		1.03
-R-3(D10)				90	1730		1.05	105	2350		1.04	130.2		1.06
-R-4(D10)				95	1820		1.11	110	2354		1.09	124.8		1.02
-R-1(D13)	27.0	371	506	105	1800	101.8	1.03	125	2505	123.3	1.01	149.2	148.0	1.01
-R-2(D13)				105	1820		1.03	125	2340		1.01	150.3		1.02
-R-1(D10)	21.0	365	510	100	1848	96.6	1.04	120	2470	114.6	1.06	140.1	142.9	0.98
-R-2(D10)				100	1818		1.04	115	2478		1.03	140.8		0.98
-R-3(D10)	32.0	370	511	115	1845	109.6	1.05	130	2395	130.3	1.00	172.5	160.6	1.06
-R-4(D10)				110	1826		1.00	135	2486		1.04	171.5		1.06
-R-5(D10)	35.0	368	516	115	1796	114.2	1.01	140	2532	134.2	1.04	172.5	165.7	1.04
-R-6(D10)				120	1849		1.05	140	2502		1.04	171.5		1.04
-CR-1(D10)	32.0	368	516	130	1759	109.6	1.19	165	2515	130.3	1.27	185.0	160.6	1.15
-CR-2(D10)				125	1733		1.14	155	1466		1.19	180.4		1.12

せん断耐力を表 - 3に示す。

(3) 破壊荷重付近の押抜きせん断力学モデル・耐力式

破壊荷重付近では、RC 床版供試体に主鉄筋および配力筋方向にひび割れが発生し、RC 床版は貫通ひび割れによりはり状化することから、床版は等方性が失われる。4 辺支持された単純版に走行荷重が作用した場合は、はり状化に対する等価応力ブロック a の大きさは、部材の有効幅 b を 100cm とした場合は、等価応力ブロック a は上縁側となり、コンクリートのせん断強度の影響を受ける範囲が減少し、押抜きせん断耐力が実験値に比して下回る結果となる。そこで、等価応力ブロックの大きさを算出する場合の有効幅 b は、せん断スパン比 $a/d = 2.5$ (a : 荷重位置, 有効高)¹⁵⁾の範囲を除いた幅を有効幅 b ($= L - 2(d'_x \times 2.5)$, L : 床版支間, d'_x : 有効高は軸方向および軸直角方向の有効高 d の平均) とする。なお、4 辺支持された単純版のせん断スパン比を考慮した場合に有効幅 b が 100cm 以上の供試体、弾性支持された床版および実寸法の床版の有効幅 b は 100cm とする。押抜きせん断力学モデルは図 - 6と同様である。

図 - 4に示した供試体 -R-1 の破壊時におけるはく離幅は、かぶり 25mm に対して 4 倍以上の 100mm ~ 120mm に達している。したがって、ダウエル効果が及ぼす底面の応力分布幅は破壊荷重付近であることから、主鉄筋のかぶり(d'_x)と配力筋方向のかぶり(d'_y)の平均値 C'_d と同様 ($C_x = C'_d$) として与え、その 4 倍の範囲に三角荷重として作用させる。

破壊荷重付近の最大押抜きせん断耐力 ($V_{cp,max}$) に関する力学モデルは図 - 6とし、その算定式は式(7)を適用する。なお、式(7)におけるダウエル効果の影響を示す寸法効果 C_x は主鉄筋のかぶり(d'_x)と配力筋方向のかぶり(d'_y)の平均値 C'_d ($C_x = C'_d$) とする。

破壊荷重付近の実験耐力および理論耐力を表 - 3に示す。

6. 理論押抜きせん断耐力と実験値との比較

6.1 降伏荷重付近の押抜きせん断耐力

降伏荷重付近の押抜きせん断力学モデル(図 - 5)による押抜きせん断耐力を式(4)より算出した結果、供試体 -R が 85.7kN, 供試体 -R は 101.8kN である。また、供試体 -R-1, 2 の場合は 96.6kN, 供試体 -R-3, 4, -CR の場合は 109.6kN, 供試体 -R-5, 6 の場合は 114.2kN である。実験値と理論値を比較すると、タイプ , , で耐力比が 1.00 ~ 1.11 となり近似した結果が得られており、コンクリートの圧縮強度、鉄筋比、有効高などの要因に対しても十分に整合性が得られたものと判断できる。なお、走行一定荷重実験の供試体 -CR の場合は実験条件が異なることから耐力比の平均で 1.17 倍となり、差が生じている。

6.2 ひずみ硬化等価荷重付近の押抜きせん断耐力

ひずみ硬化等価荷重付近の押抜きせん断力学モデル(図 - 6)および押抜きせん断耐力式(7)より算出した結果、供試体 -R が 101.1kN, 供試体 -R が 123.3kN となった。また、タイプ における供試体 -R-1, 2 の場合は 114.6kN, 供試体 -R-3, 4, -CR の場合は 130.3kN, 供試体 R-5, 6 の場合は 134.2kN である。実験値と理論値を比較すると、タイプ , , とともに実験値と理論値が 1.00 ~ 1.09 となり近似する結果となった。なお、供試体 -CR の場合の耐力比の平均は 1.21 倍となり、降伏強度付近の場合と同様に差が生じている。

6.3 破壊荷重付近の押抜きせん断耐力

破壊荷重付近の押抜きせん断耐力は、貫通ひび割れによるはり状化を考慮した部材幅を適用した破壊荷重付近における押抜きせん断力学モデルおよび押抜きせん断耐力式(7)より算出した結果、供試体 -R 場合は 122.5kN, 供試体 -R 場合は 148.0kN となり、実験値と比較する

表 - 4 土木学会共通試験および本試験による RC 床版の押抜きせん断耐力

供試体	輪荷重 接地面 cm×cm	圧縮強 度 N/mm ²	1m ² 当たりの鉄筋量		床版厚 mm	引張鉄筋位置		圧縮鉄筋位置		X _m (mm)	P _{sx} (kN)	V _{cp,max} (kN)	P _{sx} V _{cp,max}
			主鉄筋 cm ²	配力筋 cm ²		主鉄筋 d _m (mm)	配力筋 d _l (mm)	主鉄筋 d _m '(mm)	配力筋 d _l '(mm)				
土木研究所	50×20	30.7	A _s =13.24	A _s '=4.22	194.2	152.6	139.1	42.6	57.6	55.57	358.0	502.7	0.712
大阪大学	32×12	34.3			193.8	154.3	139.2	43.8	58.8	49.35	304.0	377.8	0.805
IHI	50×20	28.8			193.6	157.7	143.6	44.4	59.4	48.78	350.0	454.6	0.770
横河ブリッジ	50×20	31.9	A _s '=6.62	A _s '=4.22	196.5	158.6	143.3	50.7	65.7	51.92	368.0	491.7	0.748
東京都	23×39	34.3			196.5	158.0	143.1	41.4	56.4	50.21	515.0	578.4	0.890
-R	25×5	30.0	A _s =7.13 A _s '=3.57	A _s =5.92 A _s '=2.96	110.0	90.0	80.0	20.0	30.0	28.0	86.3	122.5	0.704
-R	25×5	27.0	A _s =12.67 A _s '=6.34	A _s =10.52 A _s '=5.26	110.0	105.0	95.0	25.0	35.0	36.8	102.6	148.0	0.693
-R-1,2	25×5	21.0	A _s =7.13 A _s '=3.57	A _s =7.13 A _s '=3.57	130.0	105.0	95.0	25.0	35.0	39.6	102.5	142.2	0.721
-R-3,4	25×5	32.0			130.0	105.0	95.0	25.0	35.0	29.9	114.6	160.6	0.714
-R-5,6	25×5	35.0			130.0	105.0	95.0	25.0	35.0	29.4	117.6	165.7	0.710

と、それぞれ 1.04, 1.02 となっていることから、近似した結果が得られた。また、供試体 -R-1, 2 の場合は 142.9kN, -R-3, 4 の場合は 160.6kN, 供試体 -R-5, 6 の場合は 165.7kN となり、耐荷力比はそれぞれ 0.98, 1.06, 1.04 となり、これも近似する結果が得られた。なお、供試体 -CR の場合は 160.6kN で、耐荷力比の平均が 1.14 とった。

以上の結果からも、降伏荷重付近、ひずみ硬化等価荷重および破壊荷重付近のいずれのケースにおいてもコンクリートの圧縮強度、有効高、鉄筋比が異なる RC 床版に対して、本提案する押抜きせん断耐力評価式は実験値と近似する結果が得られており、整合性が得られているものと判断できる。

7. 面外せん断疲労照査における押抜きせん断耐力

7.1 S-N曲線における押抜きせん断耐力

コンクリート系床版は、荷重直下に対する面外押抜きせん断力を受け、押抜きせん断により疲労破壊に至る場合が多い。そこで、押抜きせん断に対する耐疲労性評価方法としては、S-N 曲線が採用されている。S-N 曲線の縦軸 S には、最大作用荷重 P を静的押抜きせん断耐力 P₀ で徐して無次元化して用いている。また、輪荷重走行によるはり状化の影響が大きい床版には、最大作用荷重 P を松井らが提案する押抜きせん断耐力 P_{sx} (式(1)) で徐して無次元化している。松井式は、昭和 39 年と昭和 55 年の道示に準拠した RC 床版供試体、すなわち主鉄筋量に比して配力筋量が少ない供試体を用いて、輪荷重の走行面に載荷版を設置して疲労実験を行った結果より提案されたものである。一方、本実験に用いた供試体は平成 8, 14 年の道示に準拠し、その 1/2 モデルとし、輪荷重走行は床版上面に直接輪荷重を載荷して走行を行った結果による破壊力学モデルに基づいて提案した押抜きせん断耐力 V_{cp,max} である。なお、定点疲労実験における S-N 曲線の S の算出には静荷重実験における破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 P₀ を適用している。いずれにおいても面外せ

ん断疲労照査においては走行荷重が作用する破壊荷重付近の押抜きせん断耐力を明らかにする必要がある。

7.2 土木学会共通試験における松井式および本提案式との比較

土木学会鋼構造委員会⁸⁾では、RC 床版の疲労耐久性と S-N 曲線の統一化を目的として、輪荷重走行試験機を所有する(独)土木研究所、大阪大学、(株)IHI、(株)横河ブリッジ、東京都土木研究所らが連携して統一的な共同試験を実施している。供試体には配力筋が少なく、損傷事例が多くみられた昭和 39 年の道示に準じて製作した RC 床版を用いている。ここで、共通試験における供試体の諸元および松井式(1)より算出された押抜きせん断耐力(P_{sx})、および本実験における供試体の諸元および押抜きせん断耐力(V_{cp,max})を表 - 4に示し、本実験における破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 V_{cp,max} と松井式における押抜きせん断耐力 P_{sx} を比較検討する。なお、共通試験に用いた供試体は実寸法であることから中立軸の算定に用いる有効幅 b は 100cm として解析した。

土木学会共通試験によるはり状化した RC 床版の押抜きせん断耐力 P_{sx} (式(1)) と本実験における破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 V_{cp,max} (式(7)) との比は、載荷版 50×20cm とした土木研究所、IHI、横河ブリッジが、それぞれ 0.712, 0.770, 0.748, 載荷版 30×12cm を用いた大阪大学は 0.805 である。また、載荷版が 23×39cm を用いた東京都土木研究所は 0.890 となり、他の理論値を大きく上回っている。これは、東京都土木研究所の輪荷重接地面(ゴムタイヤ)の辺長比が主鉄筋方向に比して配力筋方向が 1.7 倍であることから、はり幅 B が顕著となり耐力が向上したものである。次に、本実験供試体の松井式による押抜きせん断耐力 P_{sx} と破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 V_{cp,max} との比は 0.693 ~ 0.721 となった。したがって、松井らが提案するはり幅 B を考慮した押抜きせん断耐力(P_{sx})は、本提案する走行荷重が作用した場合の押抜きせん断耐力 V_{cp,max} の 70 ~ 80 %程度である。

平成 8, 14 年の道示の基準に基づいて設計された RC

床版の S-N 曲線における $S (= P/P_{sx})$ の算出には、静的押抜きせん断耐力を適用する場合と同様に、本提案する破壊荷重付近における押抜きせん断耐力 $V_{cp,max}$ を押抜きせん断耐力 P_{sx} として適用することにより、最大作用荷重 P を破壊荷重付近の押抜きせん断耐力で徐して無次元化することを提案する。

ただし、本提案式は道示に規定する「床版の支間方向が車両進行方向に直角」な場合で、大型車両のダブルタイヤの接地面をモデル化した T 荷重 (50cm×20cm) の荷重載荷条件、すなわち輪荷重接地面が軸直角方向の辺長 a に比して軸方向の辺長 b が小さい場合に適用が可能である。

8. まとめ

走行荷重実験および走行一定荷重実験における RC 床版の押抜きせん断耐力を引張鉄筋ひずみの降伏荷重付近、ひずみ硬化等価荷重および破壊荷重付近の場合に分けて解析した結果、次の成果が得られた。

(1) RC 床版に対する走行荷重および走行一定荷重実験の破壊モードは、輪荷重の載荷面から 45 度の角度で拡がりを持つ押抜きせん断破壊となった。また、引張鉄筋のかぶり内はダウエル効果の影響によりかぶりの 4 倍の範囲全域で、はく離破壊している。

(2) RC 床版の押抜きせん断耐力は、降伏荷重付近の押抜きせん断破壊モデルおよび押抜きせん断耐力式を用いることによって実験値と理論値が近似し、妥当性が得られた。したがって、面外せん断照査においては、降伏荷重付近の押抜きせん断耐力に材料係数、部材係数を適用することで性能評価が可能となる。

(3) ひずみ硬化等価荷重および破壊荷重付近の場合も、提案した押抜きせん断耐力式による理論値は、ひずみ硬化等価荷重付近および破壊荷重付近ともに実験値と理論値は近似した。

(4) 道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力の主要影響因子であるコンクリートの圧縮強度、床版厚、鉄筋比が異なる 3 タイプの供試体の実験耐力と提案した理論押抜きせん断耐力とは近似する結果が得られたことから、本研究で提案する押抜きせん断破壊モデル、耐力式の妥当性が実証された。

(5) 松井らが提案するはり幅 B を考慮した押抜きせん断耐力 (P_{sx}) を、筆者らの提案する破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 $V_{cp,max}$ と比較すると、松井式は本提案式の 70 ~ 80 % 程度に設定されている。

(6) S-N 曲線における $S (= P/P_0)$ の算出において、静的押抜きせん断耐力 P_0 を適用する場合と同様に、走行荷重が作用した場合の $S (= P/P_{sx})$ の算出には、破壊荷

重付近における押抜きせん断耐力 $V_{cp,max}$ を押抜きせん断耐力 P_{sx} として適用し、最大作用荷重 P を破壊荷重付近の押抜きせん断耐力で徐して無次元化することを提案する。

参考文献

- 1) (社)土木学会性能照査設計分科会：道路橋床版の性能照査型設計，道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上，pp. 65-93, 2004.
- 2) 川畑篤敬，中村聖三，秋元礼子，太田孝二，ほか：土木学会 鋼・合成構造標準示方書 設計編における床版に関する条文の概要，第 5 回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp. 103-106, 2006.
- 3) 鋼・合成構造標準示方書 総則編・構造計画編・設計編，土木学会，2007.
- 4) 前田幸雄，松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第 348 号，-1，pp.133-141, 1984.
- 5) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 9，No. 2，pp. 627-632，1987.
- 6) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，澤野利章，加藤清志：静荷重・走行荷重を受ける RC 床版の押し抜きせん断耐力，構造工学論文集，Vol. 50A，pp. 919-926，2004.
- 7) 阿部忠，木田哲量，徐銘謙，澤野利章：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力評価式に関する研究，構造工学論文集，Vol. 53A，pp. 199-207，2007.
- 8) 土木学会：道路橋床版の輪荷重走行による共通試験の評価，土木学会鋼構造委員会，pp. 3-30，2008.
- 9) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説，，，，2004.
- 10) 阿部忠，木田哲量，澤野利章，星埜正明，加藤清志：走行荷重および変動荷重が作用する RC はりの耐力と動的影響，構造工学論文集（土木学会），Vol.47A，pp.313-320, 2001.
- 11) 伊東茂富：コンクリート工学，森北出版，pp. 75，1972.
- 12) 岡村甫：コンクリート構造の限界状態設計法，コンクリートセミナー 4，共立出版，pp. 17-18，1979.
- 13) 加藤清志，河合紘茲，加藤直樹：鉄筋コンクリート工学，共立出版(株)，pp. 81-92，1999.
- 14) 土木学会：コンクリート標準示方書（構造性能照査編），土木学会，2002.
- 15) 川上雄也，木田哲量，阿部忠，加藤清志：移動荷重が作用する RC はりのせん断特性に関する基礎的研究，セメント・コンクリート論文集 No.57，pp. 368-373，2003.

（2009 年 9 月 18 日受付）