

床版上面切削後に有機ファイバーを打設した
押し抜きせん断の破壊メカニズムに関する研究

Study on destruction mechanism of punching shear placing organic fiber reinforced concrete after cutting top surface of floor slabs

(株)砂子組 ○正員 川村 正之 (Masayuki Kawamura)

札幌開発建設部 千歳道路事務所 正員 坂 憲浩 (Norihiko Saka)

札幌開発建設部 千歳道路事務所 非会員 新保 貴広 (Takahiro Sinbo)

(株)砂子組 正員 近藤 里史 (Satoshi Kondo)

(株)砂子組 正員 田尻 太郎 (Taro Tajiri)

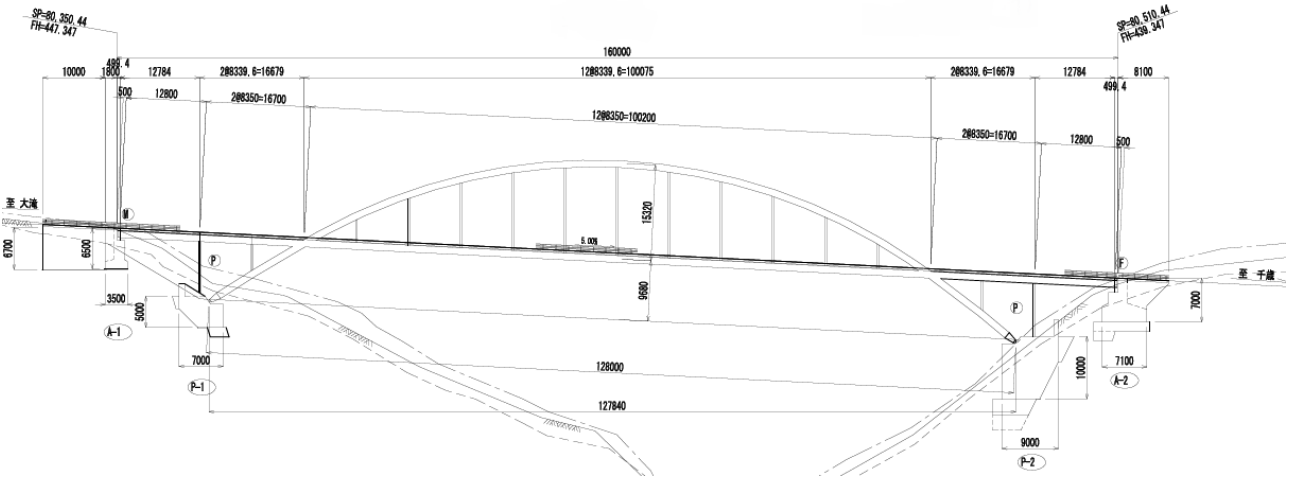


図-1 側面図

1. はじめに
一般国道 276 号支笏大橋は、橋長 160 m、アーチ支間 128 m の 3 径間連続中路式ローゼ橋である。もともと道々であった当橋梁は、その後国道に格上げされると共に重車両混入率が著しく増加し、中路式ローゼ橋の構造特性、および 5%縦断勾配という厳しい架設条件が複合的に影響し合い、直接の原因は不明であるが、床版上鉄筋のほぼ直下でコンクリートが膚別れを起こすという、著しい床版劣化を招いたと考えられる。そのため床版上面を上鉄筋下側まで WJ で切削し、有機系繊維補強コンクリートで打ち換える対策工（図-2）が取られる事となった。

対策工に先立ち、有機系繊維補強コンクリートの効果を確認する目的で、プレーンコンクリートと補強コンクリートの実験ケースを含む、押し抜きせん断平板载荷試験を実施したが、ビニロン繊維を混入させた供試体では、プレーンコンクリートと比較して約 20%の耐力向上が見られた。ここでは、その理由について考察する。

2. 実験ケース

表-1 に実験ケースを示す。ここではプレーンコンクリートと繊維補強コンクリートの違いに注目するので、Case-1, 3, 4, 5 を取り上げる。

Case-1 は、対策工前の床版に相当する。本橋梁は過去の示方書に基づいた設計で、配力筋が現在の約半分になっているので（標準配筋）Case-3 では比較のために、

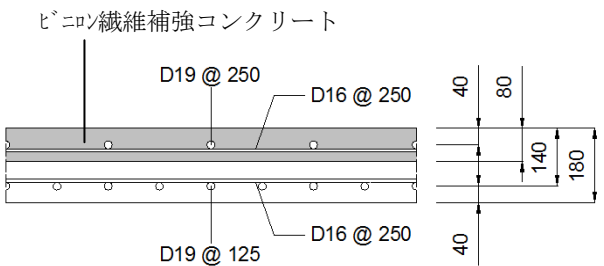


図-2 床版対策工

表-1 実験ケース

ケース	鉄筋	コンクリート	疑似クラック	補強
Case-1	標準配筋	プレーン	無	無
Case-2	標準配筋	プレーン	有	無
Case-3	配力筋追加	プレーン	無	無
Case-4	標準配筋	ビニロン繊維入	無	無
Case-5	標準配筋	クラックバスター入	無	無
Case-6	標準配筋	プレーン	有	カーボン繊維

配力筋を追加した。Case-4 は取り扱いが明確なビニロン繊維で補強したケース¹⁾で、対策工に相当する。Case-5 は、一般的に用いられてきたクラックバスターを用いたケースである。混入率は、重量比で 5%となる。

3. 押し抜きせん断耐力結果

載荷試験は、2.8×2.8×0.18 m 平板供試体の片側両翼を、縁端から 150 mm の位置でボルト固定し、中央を 200 tf ジャッキで押して行った。ジャッキには 500×250 mm の輪荷重を想定した、鋼製載荷板を持たせた。

実験的な押し抜きせん断耐力は、平板中央変位とジャッキ荷重の関係、すなわち P-δ 曲線が歪み軟化を示した時点を、実験による押し抜きせん断耐力とした。

表-2 に、注目した実験ケースの耐力結果を示す。押し抜きせん断耐力は Case-3, 4, 5 でそれぞれ、Case-1 の場合より 20, 20, 10%大きい。

これらの耐力増加を、コンクリート標準示方書設計編²⁾の押し抜きせん断耐力推定式で、コンクリート設計基準強度または有効載荷周長に換算すると、表-3 となる。

ただし有効載荷周長とは、ここでは以下に示す推定式の設計断面の周長の事である。なお有効高 d は図-2 より d=140 mm であり、Case-1 と 3 の結果は、ほぼ(式 1)に一致した。また図-3 で有効載荷幅を定義する。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_\gamma \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (\text{式 1})$$

ここに、

$$f_{pcd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = (1000/d)^{1/4}, \quad \beta_d > 1.5 \text{ では } \beta_d = 1.5.$$

$$\beta_p = (100p)^{1/3}, \quad \beta_p > 1.5 \text{ では } \beta_p = 1.5.$$

$$\beta_\gamma = 1 + 1/(1 + 0.25 u/d)$$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)

u : 載荷面の周長 (mm)

u_p : 設計断面の周長で、載荷面から d/2 離れた位置で算定する。

d : 有効高 (mm)

p : 二方向の鉄筋の鉄筋比の平均。

γ_b : 1.3

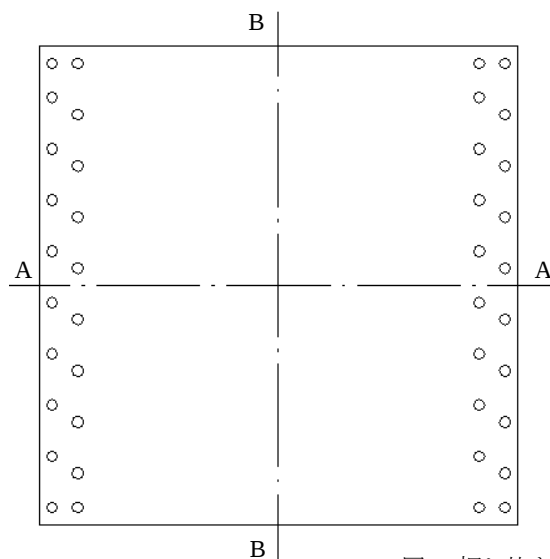


図-4 押し抜きせん断コーン 凡例

表-2 載荷試験結果

ケース	押し抜きせん断耐力(kN)	終局耐力(kN)	終局変位(mm)
Case-1	350	480	55
Case-3	415	520	65
Case-4	420	570	80
Case-5	390	520	70

表-3 耐力換算

ケース	押し抜きせん断耐力比	設計基準強度比	有効載荷周長比
Case-1	1.00	1.00	1.00
Case-3	1.19	1.41	1.19
Case-4	1.20	1.44	1.20
Case-5	1.11	1.24	1.11

※ Case-1 との比較。

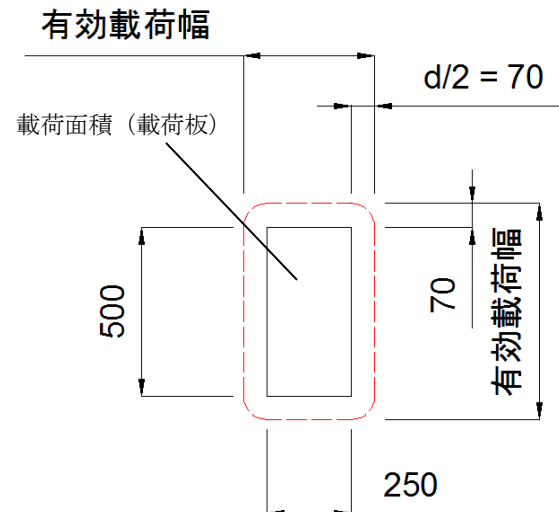
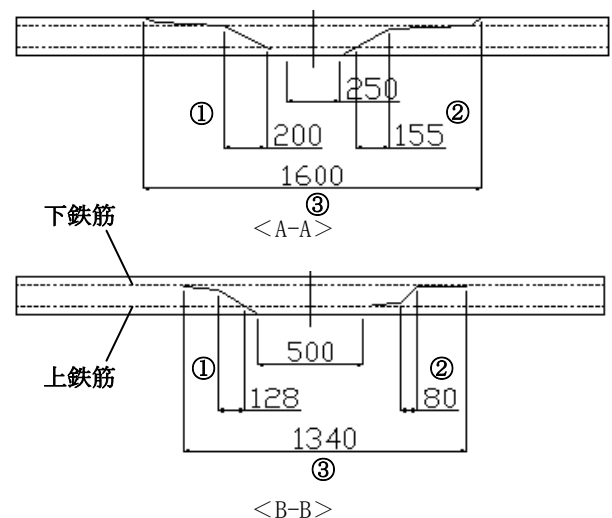


図-3 有効載荷幅



4. 押し抜きせん断コーンの検討

図-4 の凡例において、〈A-A〉、〈B-B〉断面の 250 と 500 mm の寸法値は、載荷板の幅を表す。

コンクリート示方書の推定式は、 45° のせん断コーンの力学モデルに基づいているので、寸法値①、②の半分が図-3 の $d/2$ に相当する。①、②は、上鉄筋と下鉄筋の間で取った³⁾。寸法値③は押し抜き幅である。

図-5 に、実験から得られた〈A-A〉、〈B-B〉断面の押し抜きせん断コーンの状況を示す。表-4 の $d/2$ は、①と②の平均を用いた。有効載荷幅は、載荷板幅+d である(図-3)。有効載荷周長比は、示方書推定式による理論値との比較となる。

示方書推定式によれば、コンクリート設計強度、載荷面、鉄筋比が同一ならば、押し抜きせん断耐力は有効載荷周長に比例する。

表-3 で Case-3 は Case-1 に対して 1.2 倍の耐力比を持つが、表-4 では Case-1, 3 の有効載荷周長は、示方書推定式の理論値に対して 1.0, 1.0 倍である。両ケースの設計強度、載荷面は同一で、共に実験耐力は推定式に一致したことから、配力筋を追加した Case-3 では、鉄筋比の係数 β_p の影響が支配的である事になり、示方書推定式の力学モデルの想定に良く一致している。

一方、有機系繊維を混入した Case-4, 5 では、有効載荷周長比が 1.2, 1.1 倍となり、表-3 の耐力比に一致する。両者とも、コンクリート設計強度、載荷面、鉄筋比は Case-1 と同一である。従って繊維補強の効果は、有効載荷周長として現れた事になる。

よって本実験からは、コンクリートの繊維補強は、(見かけ上の)コンクリートの設計強度を増大させるものではなく、いわば仮想の分散鉄筋として働き、押し抜きせん断角度を増大させたと考えられる。

しかしながら通常の(集中)鉄筋では、鉄筋量を増加させても押し抜き角度は変化しないので、繊維コンクリートに対する破壊モデルを、今後考察する事が望ましいと考えられる。

また(見かけ上の)コンクリート設計強度は増大しないので、(見かけ上の)コンクリートの弾性係数も変化しないと予想できるが、図-6 に示すように、プレーンコンクリートと繊維コンクリートの $P-\delta$ 曲線の傾きは、ほぼ同じである。

なおビニロン繊維 (Case-4) とクラックバスター (Case-5) の混入率 5%は、メーカー推奨値 5~15%の最低値を用いたもので、最低限の混入で耐力比が 10~20%増大する効果が得られた。

5. 終局耐力、終局変位、押し抜き幅

表-5, 6, 7 に、終局耐力、終局変位、押し抜き幅を示す。終局耐力は供試体が押し抜かれる直前のジャッキ荷重、終局変位は同時点での平板中央変位である。

これらは押し抜きせん断耐力に、必ずしも比例するものにはなっていない。別の破壊メカニズムの考察が必要と思われる。特に Case-4 (ビニロン繊維) の終局変位の増加が、他と比較して 2 倍近く大きくなるのは、ビニロン繊維の物性に由来する可能性がある。

表-4 有効載荷周長比

ケース	断面	$d/2$ (mm)	有効載荷幅 (mm)	有効載荷 周長比
Case-1	A-A	89	428	1.00
	B-B	52	604	
Case-3	A-A	71	392	1.00
	B-B	70	640	
Case-4	A-A	104	458	1.21
	B-B	146	792	
Case-5	A-A	100	451	1.11
	B-B	95	690	

※ 理論値： $d/2=70$ mm, 有効載荷幅 390×640 mm,
有効載荷周長 $u_p = (390 + 640) \times 2 = 2060$ mm.

表-5 終局耐力

ケース	終局 耐力(kN)	Case-1/他
Case-1	480	1.00
Case-3	520	1.08
Case-4	570	1.19
Case-5	520	1.08

※ Case-1 との比較。

表-6 終局変位

ケース	終局 変位(mm)	Case-1/他
Case-1	55	1.00
Case-3	65	1.18
Case-4	80	1.45
Case-5	70	1.27

※ Case-1 との比較。

表-7 押し抜き幅

ケース	断面	押し抜き幅 (mm)	Case-1/他
Case-1	A-A	1600	1.00
	B-B	1340	
Case-3	A-A	1460	1.14
	B-B	1890	
Case-4	A-A	1600	1.22
	B-B	2000	
Case-5	A-A	1500	1.22
	B-B	2080	

※ Case-1 との比較。

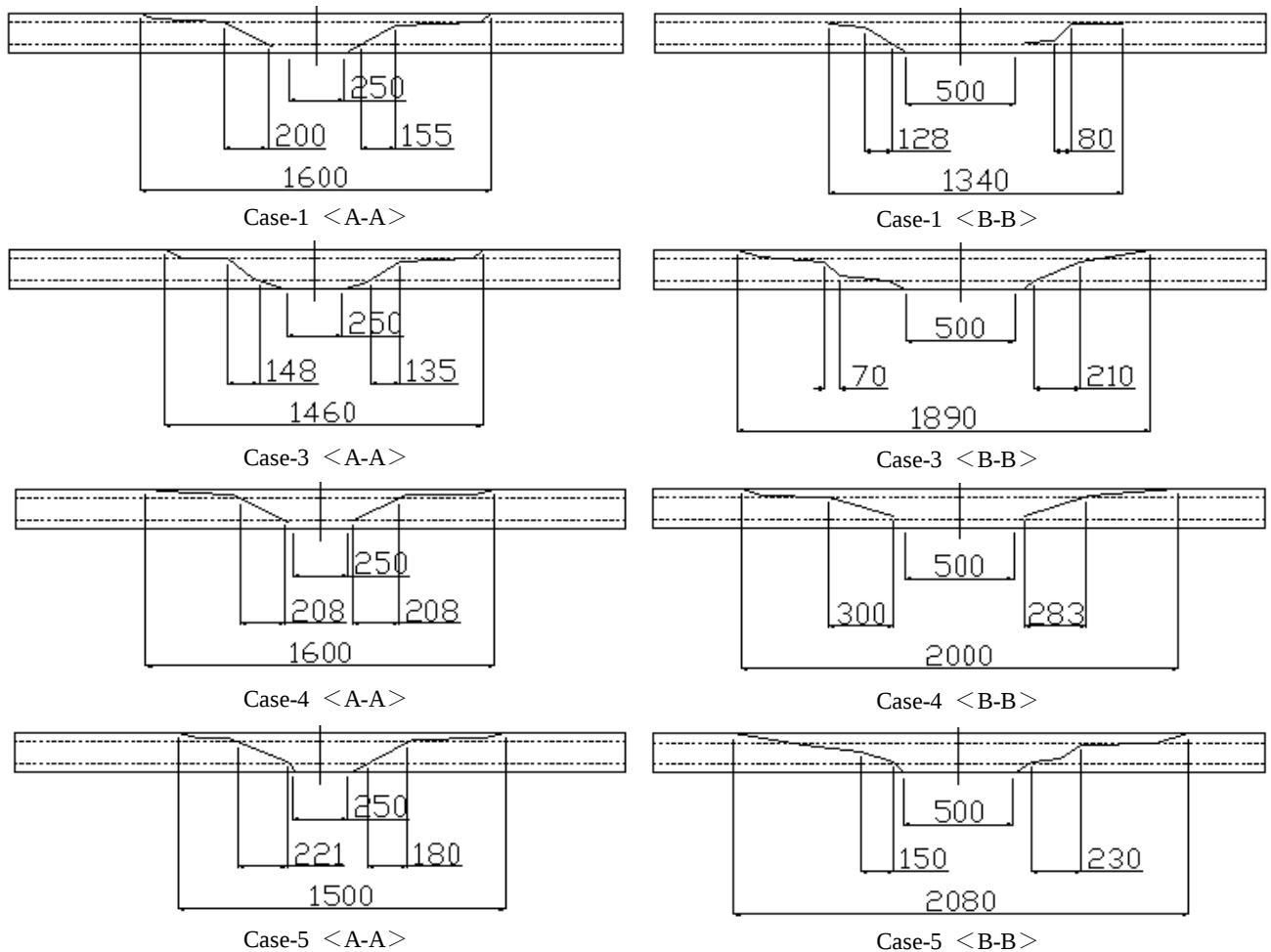


図-5 押し抜きせん断コーン

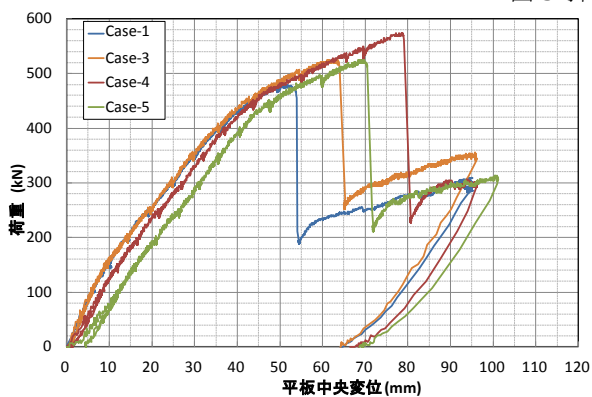


図-6 P-δ 曲線 (Case-1, 3, 4, 5)

6. まとめ

- (1) プレーンコンクリート供試体および、配力筋を追加した同供試体では、実験的な押し抜きせん断耐力、破壊メカニズムともに、コンクリート標準示方書による推定値、力学モデルと良く一致した。
- (2) 有機繊維系補強コンクリートでは、補強の効果は、(見かけ上の)コンクリートの設計強度ではなく、設計断面の有効荷重周長として現れた。
- (3) 従って補強繊維は、仮想の分散鉄筋として働くと考えられる。

- (4) 現在の標準モデルでは、鉄筋量の増加は設計断面の拡さに影響しないので、繊維コンクリートに対する破壊モデルの考察を行う事が望ましい。
- (5) 見かけ上の繊維補強コンクリートの弾性係数は、プレーンコンクリートのものと大差なく、見かけ上の設計強度も変わらない事と整合する。
- (6) 有機繊維混入率は、メーカー推奨値の最低値、重量比 5% で 10~20% の耐力増加が見られた。
- (7) 終局耐力、終局変位、押し抜き幅は、押し抜きせん断耐力とは別の破壊メカニズムの考察が必要と思われる。

[参考文献]

- 1) 有機系繊維を混入したコンクリート ー 設計施工手引き (案) ー, (独)寒地土木研究所, 2014 年.
- 2) コンクリート標準示方書, 土木学会コンクリート委員会他, 2013 年.
- 3) PC 床版の押し抜きせん断耐力評価式に関する一考察, 奥村征史他, コンクリート工学年次論文報告集, 1999 年.