鉄筋量を削減した鋼繊維補強コンクリートセグメントの性能確認（その 1）―コンクリート要素試験―

東京電力パワーグリッド株式会社　正会員　篠口　冴子
東京電力パワーグリッド株式会社　正会員　金城　佑紀
株式会社　安藤・間　榎原　彩野
株式会社　安藤・間　正会員　○井上　隆広

1．はじめに

近年，シールド工事の大深度化に伴い，RC セグメントに高い止水性と耐久性が求められており，施工段階でのひび割れや損傷の防止が重要である．そこで，対策として鋼繊維補強コンクリート（以下 SFRC）を用いてひび割れ抵抗性を向上し，かつ，セグメントの主筋を削減，配力筋を省略してコストの増加を抑制することを検討した．本稿では，SFRC の基本性能を確認するために実施した要素試験の結果について報告する．

2．試験概要

実施した要素試験の項目を**表-1** に，試験ケースを**表-2** に，コンクリート配合を**表-3** に示す．近年では，素線の強度増加とともに鋼繊維両端のフック形状を改良して引抜き抵抗を強化した製品（**図-1**）が開発されており，試験ケースはこれらを含めて材料コストを勘案して，鋼繊維の形状と混入量をパラメータとした 8 ケースとした．なお，CASE1 は過去の類似工事で施工実績があり，これを評価基準ケースとした．また，CASE8 は基本となる鋼繊維無混入のケースである．

試験方法は，JSCE 規準または JCI 規準に準拠した．また，供試体寸法は，繊維長 60 ㎜（＞40 ㎜）までを扱うため，φ150x300（圧縮試験），□150x150x530（せん断試験，曲げ試験）に統一した（**図-2～4**）．

表-1　要素試験項目

試験項目	目的
圧縮試験	SF 形状・混入量の相違による強度・靭性の比較
せん断試験	引張軟化曲線（曲げ抵抗性能）の推定（JCI 基準：切欠きはりを
曲げ試験	用いた繊維補強コンクリートの荷重－変位曲線試験方法）

表-2　試験ケース

SF 形状 / SF 混入量	3D		4D		5D	無混入
	L=30mm	L=60mm	L=35mm	L=60mm	L=60mm	---
0.25vol%	---	---	---	CASE6	CASE7	CASE8
(19.63kg/m3)	0.63	0.72	0.82	0.82	1.04	---
0.3vol%	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	---	---
(23.55kg/m3)	0.75	0.86	0.98	0.98	1.24	---
0.4vol%	CASE1	---	---	---	---	---
(31.40kg/m3)	1.00	1.15	1.31	1.31	1.66	---

注）下段の数値は、CASE1 に対する材料コスト比（参考値）を示す。

表-3　コンクリート配合（f'ck=42N/㎟）

CASE	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	水 (kg/m³)	セメント (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	鋼繊維 (kg/m³)	混和剤 (kg/m³)
1	20	2±1.0	2±1.5	35.5	50	155	437	908	912	31.40	3.06
2										23.55	2.84
3											3.50
4											3.50
5											3.28
6										19.63	3.06
7											3.28
8	20	2±1.0	2±1.5	35.5	45	150	423	826	1019	---	2.75

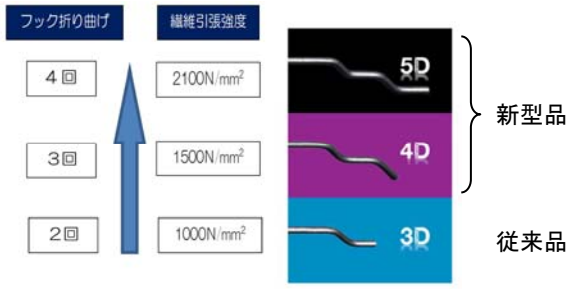


図-1　鋼繊維のフック形状

図-2　圧縮試験の概要

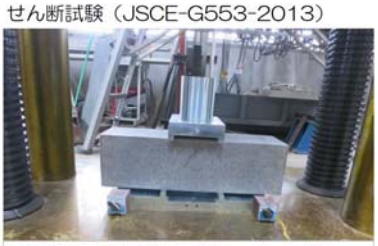


図-3　せん断試験の概要

図-4　曲げ試験の概要

キーワード　鋼繊維補強，セグメント，圧縮強度，せん断強度，引張強度
連絡先　〒107-8658　東京都港区赤坂 6-1-20　TEL：03-6234-3671

３．試験結果

図-5 に圧縮試験およびせん断試験の結果を示す．圧縮強度は全てのケースで設計基準強度（42N/㎜²）を十分に上回ったが，鋼繊維混入本数が多いほど圧縮強度が小さくなる傾向が認められた．せん断強度は，無補強の CASE8 に比べて CASE1～7 は 1.2～1.3 倍大きく、鋼繊維による補強効果が認められた．CASE1, 2 のせん断強度に比べ，長い鋼繊維を用いた CASE3 や引抜き抵抗に優れた形状 4D，5D による CASE4～7 のせん断強度は 1.1 倍程度大きい．なお，圧縮強度とせん断強度の相関性は認められなかった．

図-6 に曲げ試験結果を示す．ひび割れ発生荷重は，いずれのケースも P=15kN 程度であり，大差はない．ひび割れ発生後の「荷重-CMOD 曲線」に着目すると，CASE1～3 の荷重が減少傾向であるのに対して，CASE4～7 は荷重が増加傾向であり，鋼繊維による引張抵抗性能が高い．これらのタフネスは CASE1 に対して 1.2～1.7 倍であり，CASE5 が最も大きい．一般にフック形状が多段化，鋼繊維が長尺化するほど引張抵抗性能が高いと推察される．CASE6 は CASE5 に比べて鋼繊維混入本数が少なく，同一 CASE の複数の供試体において「荷重-CMOD 曲線」，すなわち，引張抵抗性能のバラツキが大きい．一般に，特に低混入率の場合は，鋼繊維混入本数が少ないほどバラツキが大きくなると推察される．CASE7 はひび割れ発生後の「荷重-CMOD 曲線」において荷重増加勾配が最も大きく，鋼繊維による引張抵抗性能が最も高いと推察されるが，CASE5 に比べてひび割れ発生直後の荷重低下量が著しく大きい．以上から，鋼繊維による引張抵抗性能はそのバラツキも考慮して CASE5 が最も優れていると判断される．

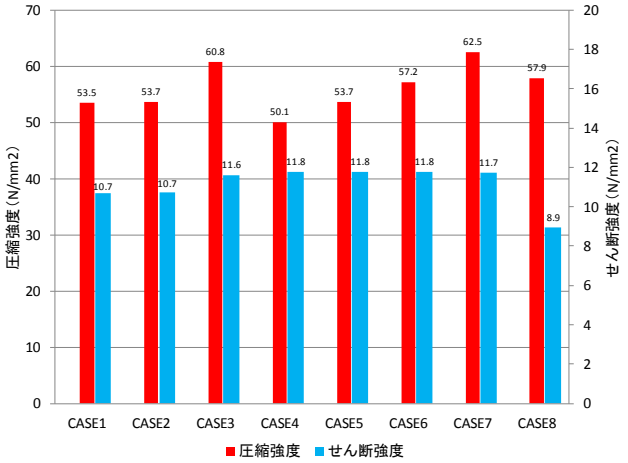


図-5 圧縮試験およびせん断試験結果

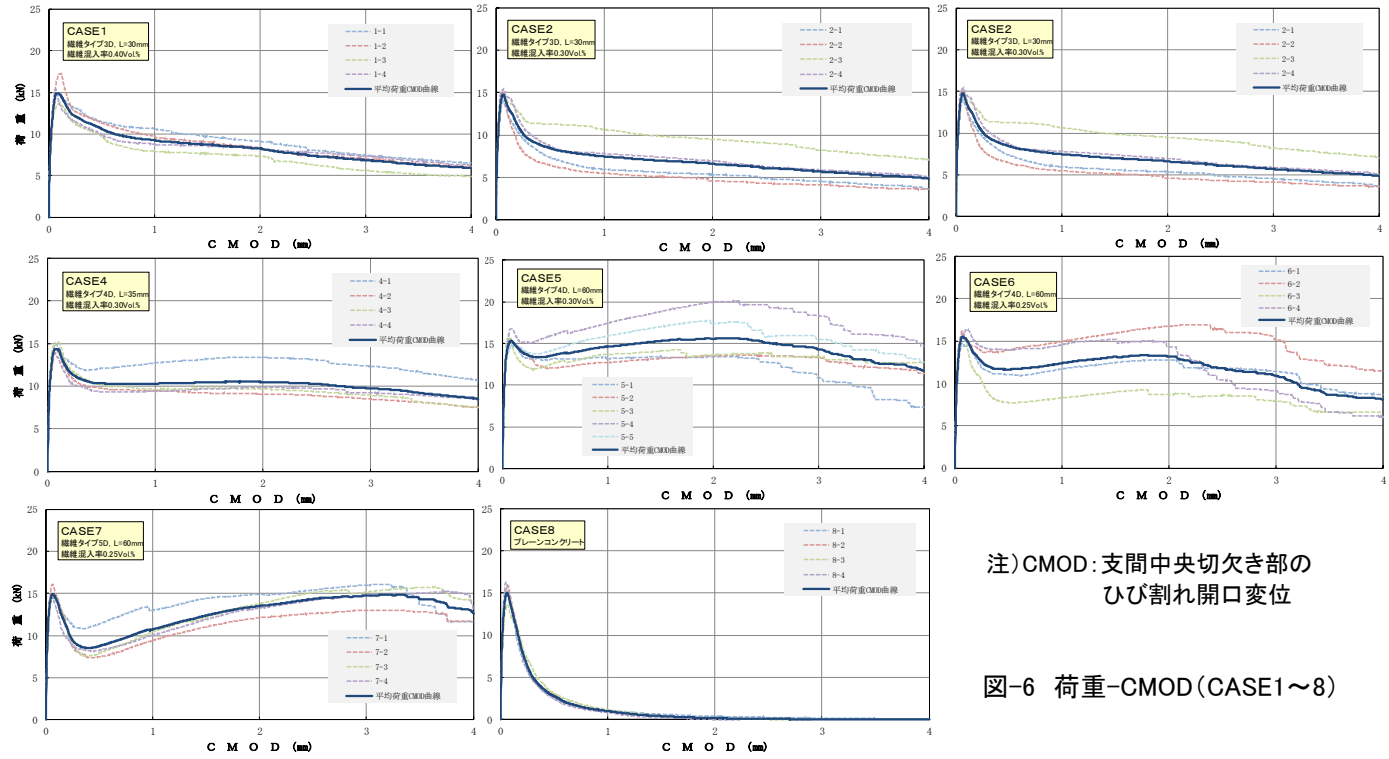
４．まとめ

本検討から得られた知見を以下に示す．

(1) 鋼繊維の形状および混入量は，圧縮強度に影響しないが，鋼繊維混入本数が多いほど圧縮強度が低下する傾向にある．

(2) 鋼繊維によりせん断強度を増強でき，4D - L60 - 0.30 vol%のケースで最大約 1.3 倍増加する．

(3) 鋼繊維により引張抵抗性能を増強でき， 4D - L60 - 0.30 vol%のケースが最も補強効果が高い．



注）CMOD：支間中央切欠き部のひび割れ開口変位

図-6 荷重-CMOD（CASE1～8）