

進むコンクリート技術

高性能繊維補強 セメント材料を例に

日本に生コン工場が開設されて半世紀以上が過ぎ、コンクリートの製造者と使用者の分業化が進んできた。責任所在の明確化を推し進めた結果、コンクリート構造の材料の観点、構造的観点のシムレス化が進んできている。
 (一)では、新しいセメント材料やその利用法を開発していく上で両者の関連性が重要である高性能繊維補強セメント複合材料を取り上げ、引張(ひっぱり)に対して大きい変形性能を有するといった材料特性や、高い耐震性能が期待される部材への商用実験の結果を紹介する。

製造者と使用者の分業

技術意識の一貫性ではマイナス

●コンクリートの歴史
 日本国内では、最大で年間2億立方以上のコンクリートが製造され(90年)、現在でも1億2000万立方程度の生コンクリートが出荷されている。建設界以外の分野を含めてもこれほど大量に使用される材料は、重工業、建設業、住宅、土木など、幅広い分野にわたって使われている。世の中を形作る主要な材料であるといえる。

意味は「固めたもの」であらう、広義の意味のコンクリートとして知られる。エジプトで石膏と泥を混ぜて使用した古式ローマのドームや、マドリックスとして使われるコンクリートといえる。現在、建築構造物のコンクリートといえる。いわゆる生コン工場で製造されるレディーミクス。コンクリートの使用が大多数であるが、日本で最も初に生コン工場が開設されたのは1949年である。その後、1950～1960年代にかけてコンクリート建物が急速に普及し、日本各地に生コン工場が設置された。レディーミクスコン

クリートの日本工業規格(JIS)は1953年に制定された。建築基準法に定められていたため、建築物の主要構造には、原則として、JISに適合する指定建築材料を用いることが必要とされている。また、指定建築材料を用いる場合は、JIS表示認定工場で製造されるレディーミクスコンクリートを用いることになる。

このコンクリート製造および使用の流れは半世紀にわたって大きく変化している。一貫した技術意識レベルという意味からは、レベルの低下につながっていると思われ。

建設産業特集

が報告されている。鉄筋などの連結した補強材に対して、これらの補強材は長さが10～30cm程度で、短繊維と呼ばれる。コンクリートの混練の際に一掃に投入されることが多い。70年代には鋼繊維補強コンクリート(GFRCC)の研究開発が多々見られる。鋼繊維を体積比で1～2%程度コンクリート中に混入する。コンクリートの引張強度が数割上昇する。土木の分野では道路舗装やトンネルのライニングなどで使用されたが、建築構造物での適用はあまり見られなかった。

避けられない「ひび割れ」 制御は重要課題の一つ

●コンクリートに引張強度はない。
 1886年にドイツで、鉄筋コンクリート部材の断面定に関する論文が発表されている。この中で、①材料の応力とひずみの直線関係(弾性)②断面内ひずみの直線分布(平面保持の仮定)③コンクリートの引張強度の無視が提案さ

れている。この3つの仮定は、現在でも許容応力度計算においてはそのまま適用されており、100年以上変わっていない。コンクリートの引張強度は圧縮強度の10分の1程度しかない。断面内の引張力は鉄筋に負担させる(鉄筋コンクリート造の基本概念は、それが硬化中のコン

また、コンクリートの混練時に投入された水と水硬性物質との水和反応に使われなかった水は毛細管孔隙となり、乾燥の過程で収縮が発生する。収縮による体積変化が境界によって拘束されて引張力が生じ、それが硬化中のコン

●短繊維による補強
 引張強度が圧縮強度と比較して小さいコンクリートで、あらかじめ引張補強しようという考えは、1970年代ごろから見られ、研究開発や実際の構造物に対する適用



写真1 粗骨材も引張性能から見る
と断面欠損となる

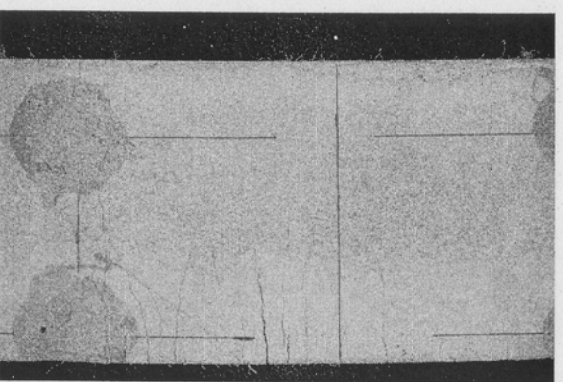


写真2 高性能繊維補強セメント複合材料では、ひび割れ幅0.1mm程度のマルチブルクラックが発生する

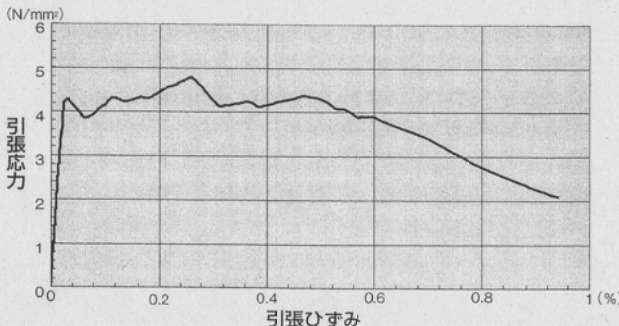


図1 高性能繊維補強セメント複合材料の引張応力-引張ひずみ関係

古来、日本の伝統木造住宅でも、土壁に藁を練り混ぜて短繊維による補強を施すという考えがあった。これは引張強度の増加というよりは、むしろ、割れ防止のためと思われ。
 また、セメント床版に竹繊維を混入しようとする開発も90年ごろから見られる。竹は生育期間が短く計画生産が容易であることや、また、竹林では不要物として廃棄される量も多いため、資源の有効利用という観点でも興味深い。しかし、竹はアークが強く、また竹の繊維成分のみを取り出すことに手間がかかることから、一般的な使用には至っていない。

細かなひび割れを多数分散

短繊維が応力増大させる

●高性能繊維補強セメント複合材料とは
通常のSFRCCでは、通常のコンクリートに短繊維が混入される。しかし、コンクリートの破壊は、通常のレベルの強度であれば、粗骨材とマトリックスの界面の剥離破壊から引き起こされる。

特にPVA繊維は分子構造にアルコール基を有しており、コンクリートの水和と化学的結合が期待できるので、注目され研究開発が進んでいる。

引張破壊したコンクリートの断面を見ると、粗骨材は損傷を受けずにそのままの形で残っている(写真1前ページに掲載)。すなわち、圧縮性能や耐収縮性能では重要な役割を果たす粗骨材も、引張性能から見ると断面欠損となるのである。

引張破壊したコンクリートの断面を見ると、粗骨材は損傷を受けずにそのままの形で残っている(写真1前ページに掲載)。すなわち、圧縮性能や耐収縮性能では重要な役割を果たす粗骨材も、引張性能から見ると断面欠損となるのである。

このときの引張応力-引張ひずみ関係は、図1(前ページに掲載)に示すように、あたかも鋼材が降伏した後応力が増大するように、ひずみ硬化性状を示す。従来のコンクリートがひび割れ発生後も、多少軟化を示す低下しひび割れ幅が一気に拡大することと比較して、数十倍の引張変形能力を有するセメント複合材料である。

高性能繊維補強セメント複合材料は、通常のコンクリートに短繊維が混入される。しかし、コンクリートの破壊は、通常のレベルの強度であれば、粗骨材とマトリックスの界面の剥離破壊から引き起こされる。

引張破壊したコンクリートの断面を見ると、粗骨材は損傷を受けずにそのままの形で残っている(写真1前ページに掲載)。すなわち、圧縮性能や耐収縮性能では重要な役割を果たす粗骨材も、引張性能から見ると断面欠損となるのである。

この材料は通常のコンクリートと比較して高価な繊維を使用するし、セメントリッチで種々の混和剤も使用するため、1立方メートルは通常のコンクリートの10倍程度になる。したがって建物全体をこの材料で置き換えることは非現実的であり、地震時に高い耐震性能が必要となる部材に使用することが考えられる。

大地震時の変形に相当するコンクリート100分の1の時のひび割れ状態を示している。実験の時にはひび割れの発生個所の確認を容易にするため、ひび割れ箇所をペンでなぞってマーキングを行うが、二つの梁部材におけるひび割れの発生状況には大きな違いがある。部材角が同じであれば全体変形も同じであるので、ひび割れ発生本数の差がおおむねひび割れ一本あたりのひび割れ幅の違いとなっており、もし実験時にひび割れのマーキングを行なえば、高性能繊維補強セメント複合材料のひび割れ幅はほとんど変わらないであろう。

マルチアルクラックの発生には、繊維の架橋性能といわれる、ひび割れ間での引張応力の伝達機構が重要な役割を果たす。繊維が破断してしま

材料と構造のシームレス化で 新たな利用法の提案を

近年の短繊維で補強したセメント系材料に関する研究開発では、高性能繊維補強セメント複合材料(HPRCC)とひずみ硬化型セメント複合材料(SHCC)といった呼び名が用いられる。これらの材料の多くは粗骨材を混入しない。したがって、厳密にはコンクリートではないので、セメント複合材料と呼んでいる。

また、短繊維には、力学的に高性能な、ポリビニルアルコール(PVA)、繊維やポリエチレン(PE)繊維といった高分子有機繊維が用いられる。

この材料は通常のコンクリートと比較して高価な繊維を使用するし、セメントリッチで種々の混和剤も使用するため、1立方メートルは通常のコンクリートの10倍程度になる。したがって建物全体をこの材料で置き換えることは非現実的であり、地震時に高い耐震性能が必要となる部材に使用することが考えられる。

マルチアルクラックの発生には、繊維の架橋性能といわれる、ひび割れ間での引張応力の伝達機構が重要な役割を果たす。繊維が破断してしま

マルチアルクラックの発生には、繊維の架橋性能といわれる、ひび割れ間での引張応力の伝達機構が重要な役割を果たす。繊維が破断してしま

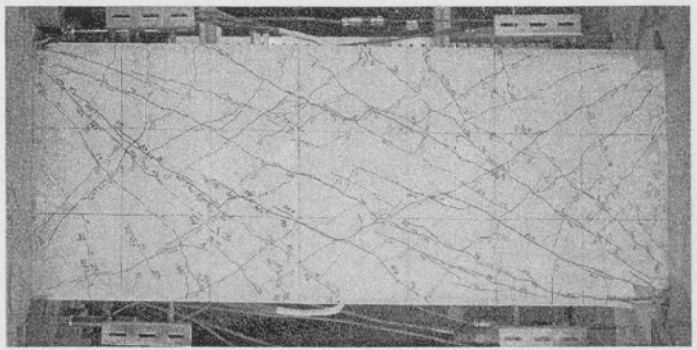


写真3 通常のコンクリート。数は少ないがひび割れの幅が大きい

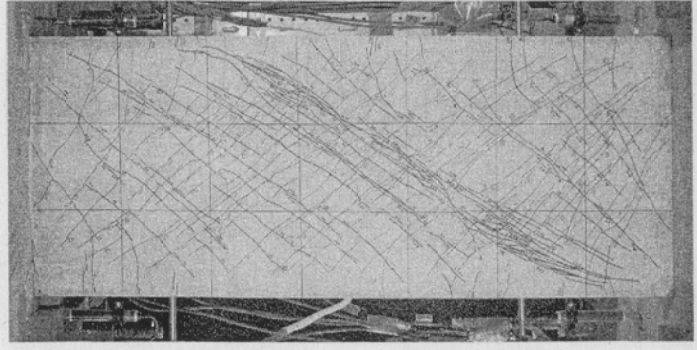


写真4 高性能繊維補強セメント複合材料。マルチプルクラックが多数発生しているが、実際にはほとんどわからない程度。写真で見えるのはマーキング(色づけ)だけ

<写真3、4とも奥村組提供>