

Innosuisse-cemsuisse Projekt: " Verstärkung von Brücken mit UHFB und memory-steel-Bewehrung"

Innosuisse Projekt No.: 56234.1 IP-ENG

Projektteam Angela Lemos, Dr. Christoph Czaderski (Empa Dübendorf)
Prof. Dr. Ivan Markovic (OST Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil)

Dauer des Projekts April 2022 - March 2025

Zielsetzung des Projektes

Das Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts ist die Entwicklung einer effizienteren und wirtschaftlich tragfähigeren Alternative im Vergleich zu bestehenden Verstärkungsmethoden für Brücken und andere Bauwerke. Die innovative Methode besteht darin, die zwei neuartigen Materialien UHFB und memory-steel-Bewehrung zu kombinieren und durch die auf diese Weise entstandene Vorspannung des UHFB das Tragvermögen des bestehenden Bauwerks zu erhöhen. Die ursprüngliche Stahlbetonstruktur wird mit einer neuen Schicht ultra-hochfestem, faserbewehrtem Beton (UHFB), die mit memory-steel Bewehrung bewehrt ist, verstärkt. Neben der Möglichkeit, die Tragfähigkeit des bestehenden Bauwerks zu erhöhen, kann der neue Ansatz potenziell Rissbreiten reduzieren, übermässig verformte Bauteile anheben und die Spannungen in der internen Bewehrung reduzieren.

Methodik und Vorgehen

Zuerst wurde im Rahmen dieses Projektes eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, um die Effizienz der vorgeschlagenen Methode zu bewerten. Ausserdem wurden mehrere experimentelle Kampagnen durchgeführt um das Materialverhalten und das Verbundverhalten zwischen memory-steel und UHFB zu charakterisieren. Die Leistung der neuen Verstärkungsmethode wird in den Grossversuchen an Kragplatten untersucht. Innovative faseroptische Sensoren werden in den Experimenten eingesetzt, um die Dehnungen entlang vollständig eingebetteter Bewehrungsstäbe zu messen, was zu einem vollständigen Verständnis des Verbundverhaltens beiträgt. Nach den experimentellen Untersuchungen werden numerische und analytische Studien folgen, mit dem Ziel Bemessungsverfahren zu entwickeln, die erstmals bei der geplanten Pilotanwendung eingesetzt werden sollen und in der Zukunft in die entsprechenden SIA-Normen einfliessen können.

Erkenntnisse für Wissenschaft, Praxis und Öffentlichkeit

Die Querschnittsanalyse und Kostenberechnungen zeigte, dass die innovative Verstärkungsmethode (UHFB + memory-steel) trotz eines etwa 15% höheren Preises als die herkömmliche Methode (UHPFRC + B500B) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) aus mechanischer Sicht wesentlich besser abschneidet. Zudem wird weniger UHFB verglichen mit der herkömmlichen Lösung benötigt.

Um die Interaktion zwischen memory-steel-Stäben und UHFB zu untersuchen, wurde eine Reihe von Auszugversuchen durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurden memory-steel-Bewehrungsstäbe mit kurzen Verbundlängen aus UHFB-Würfeln gezogen (Abbildung 1.a). Versuchsparameter wie die Stahlsorte, die Betonüberdeckung und der Einfluss des Erhitzens wurden analysiert. Bei allen Proben lag die maximale Verbundfestigkeit ungefähr zwischen 40-60 MPa. Obwohl bei den Proben, die einer Erhitzung ausgesetzt waren, eine Reduktion der Verbundfestigkeit um bis zu 20% beobachtet werden konnte, sind die Anforderungen der Normen dennoch gewährleistet.

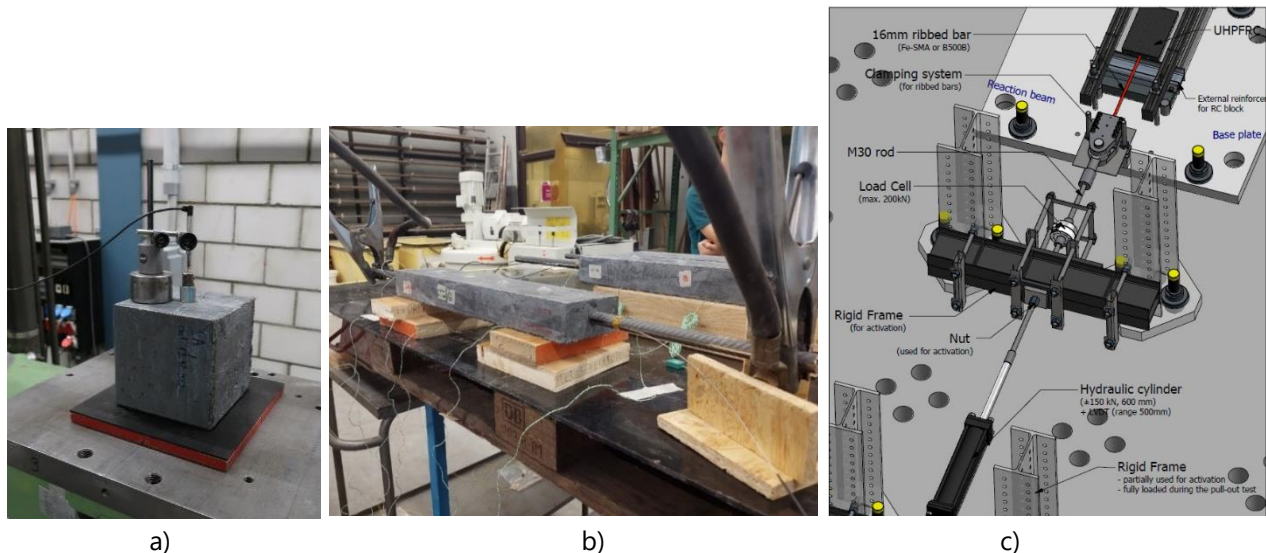


Abbildung 1: Experimentelle Versuchsaufbauten: a) kurze Ausziehversuche; b) Aktivierungstests an R-UHPFRC-Stäben; c) lange Ausziehversuche.

Aktivierungstests der memory-steel-Bewehrung wurden an Bewehrungsstäben welche in UHFB-Prismen eingebettet waren durchgeführt (Abbildung 1.b). Diese Tests zeigten, dass es machbar ist, die memory-steel-Stahlstäbe mit Widerstandsheizung zu aktivieren, wenn sie vollständig in UHPFRC eingebettet sind. Es wurden aber beim Heizen Längsrisse an der UHFB-Oberfläche beobachtet. Dies wird durch den hohen Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von UHFB erklärt. Um diese Risse zu vermeiden wird der Verankerungsansatz empfohlen: zuerst wird der memory-steel-Stab platziert und an beiden Enden mit UHFB verankert; dann, nach dem Aushärten des UHFB, werden die Stäbe mit einer direkten Heizquelle (oder mit Widerstandsheizung) erhitzt; und schliesslich wird die verbleibende Oberfläche zwischen den beiden Verankerungen mit UHFB ausgegossen.

Um das Verbundverhalten zwischen UHFB und memory-steel weiter zu untersuchen, wurde eine Reihe von Auszugversuchen mit langer Einbettungslängen, das heisst 40 cm, durchgeführt (Abbildung 1.c). Mehrere Versuchsparameter wurden untersucht, wie das Stabmaterial (B500B, memory-steel), der Aktivierungsprozess, die Schichtdicke, die Orientierung der Stahlfasern innerhalb der UHFB-Matrix und Aushärtezeit von UHFB. Während der Aktivierung konnte eine maximale Vorspannung im memory-steel-Stab 219 MPa beobachtet werden. Diese ist wegen der Nachgiebigkeit des Versuchsstandes leicht tiefer als erwartet (300 MPa).

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse wird eine Aushärtezeit des UHFB von mindestens 4 Tagen empfohlen. Ein kombiniertes Ausziehversagen mit Mikrorissen an der Oberfläche wurde bei allen Proben mit memory-steel-Bewehrung beobachtet. Die Orientierung der Stahlfasern innerhalb der UHFB-Matrix beeinflusste die Rissgeometrie stark, hatte aber kein grosser Einfluss auf die maximale Bruchlast. Ein lokales Stabversagen (Einschnürung) wurde bei den Proben mit B500B-Stahlstäben erreicht.

Bedeutung für Forschung und Praxis: Innovation

Der Einsatz von vorgespannten Verstärkungstechniken kann in bestimmten Fällen die einzige Alternative zum Abriss und anschliessenden Neubau eines bestehenden Bauwerks sein. Durch die Vorspannung besteht die Möglichkeit vorhandene Risse ganz oder teilweise zu schliessen oder Bauteile, die übermässige Verformungen aufweisen, anzuheben. Die vorgestellte Verstärkungsmethode ist von erheblichem Interesse, da es derzeit keine vorgespannten Verstärkungsalternativen mit UHFB gibt, um die Tragfähigkeit von Fahrbahnplatten von Brücken erhöhen.

In der Vorstudie zu Beginn des Projektes waren die geschätzten Kosten für die innovative Verstärkungsmethode (UHFB + memory-steel) ungefähr 15% höher als die konventionelle Methode (UHFB + B500B). Dennoch wurde gezeigt, dass die innovative Methode, auch wenn sie im Moment etwas teurer als aktuelle Methoden ist, einen reduzierten ökologischen Einfluss hat, da die Materialmengen reduziert wurden, während sie dennoch eine wesentlich bessere Leistung in Bezug auf Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bietet und weiterhin die Belastungen auf den innenliegenden Bewehrungsstahl reduziert. Zusätzlich wird erwartet, dass mit der zunehmenden Anzahl potenzieller Anwendungen für memory-steel-Bewehrung die Preise für dieses innovatives Material sinken werden. Nach den Verstärkungsarbeiten wird auch erwartet, dass die Wartungskosten sinken, da kein Eindringen von Chloriden in die sehr dichte UHFB Schicht möglich sein sollte.