ETH zürich

ETH Library

Reibermüdung einbetonierter Spannkabel

Doctoral Thesis

Author(s):
Oertle, Jakob

Publication date:
1988

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000501650

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Dissertation ETH Nr. 8609

REIBERMÜDUNG EINBETONIERTER SPANNKABEL

Abhandlung
zur Erlangung des Titels eines
Doktors der technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZÜRICH

vorgelegt von

JAKOB OERTLE
Dipl. Bauing. ETH
geboren am 8. Oktober 1954
von Hundwil, Kanton Appenzell AR

angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. B. Thürlimann, Referent
Dr. V. Esslinger, Korreferent

1988
R. Langer, Offset- und Buchdruck
Zürich

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der Reibermüdung auf teilweise vorgespannte Betonträger behandelt. Basierend auf den vom Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich im Versuchsbericht Nr. 8101-2 "Versuche zur Reibermüdung einbetonierter Spannkabel" [68] veröffentlichten Resultaten erfolgten weitergehende Detailuntersuchungen und theoretische Ueberlegungen zum Phänomen Reibermüdung. Insbesondere wurden die makroskopisch beobachtbaren Reibkräfte in allgemeiner Form behandelt und einzelne Aspekte dieser Reibkräfte durch experimentelle Untersuchungen abgeklärt.

Das Ausmass der Schädigung durch Reibermüdung für schwingend belastete, gekrümmt geführte Spannglieder hängt wesentlich vom verwendeten Hüllrohrmaterial ab. Für das Vorspannen von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund verwendete man früher fast ausschliesslich Hüllrohre aus Stahl. Aus den zahlreichen Versuchen [68, 78] ging hervor, dass sich im Bereich von Biegerissen Reibstellen zwischen dem Spannstahl und den Rippen des Hüllrohrs ausbilden. Diese sind für die frühzeitig auftretende Reibermüdung an der Spannstahloberfläche verantwortlich. Aus diesem Grund wurden der Einsatz von Kunststoffhüllrohren näher untersucht und eine neue Form der Hüllrohrwandung entwickelt. Dabei fand die Wandstärke als wichtigste Bemessungsgrösse für Kunststoffhüllrohre besondere Beachtung. Um die Durchreibgefahr der Hüllrohrwandung während des Vorspannens abschätzen zu können, wurde eine Versuchsanordnung zur Durchreibprüfung entwickelt.

Bei schwingend belasteten, teilweise vorgespannten Tragwerken treten im Spannkabel nebst der Beanspruchung aus Reibermüdung örtliche Spannungsspitzen auf, die sich den Spannungsschwingbreiten aus schwingender Belastung überlagern. Dadurch treffen an der Reibstelle des Spannstahls das zerrüttete Gefüge und die Spannungsspitzen zusammen. Die sich daraus ergebenden örtlichen Spannungsverhältnisse im Spannglied wurden näher untersucht.

Die der Kabelzugkraft im Krümmungsbereich entgegengesetzten Reibkräfte zwischen dem Spannglied und den Rippen des Hüllrohrs führen zu einem steilen Abfall der Spannungsschwingbreite in Spanngliedlängsrichtung. Die Grösse dieser Reibkräfte wird von den örtlichen Querpressungen und der Grösse des Reibbeiwertes beeinflusst. Im weiteren werden die Spannungen im Spannglied durch die Verbundwirkung zwischen den Spanndrähten und dem umgebenden Injektionsgut abgebaut. Aus der vorliegenden Arbeit geht hervor, dass infolge des steilen Spannungsabfalls im

Rissbereich des Bauteils die Spannungsschwingbreite im Spannkabel nicht anhand von Dehnungsmessungen an der Betonoberfläche ermittelt werden kann. Die übliche Basislänge von 200 bis 300 mm ist für solche Messungen im Verhältnis zur örtlich rasch abklingenden Spannungsschwingbreite viel zu gross und liefert daher lediglich einen Durchschnittswert, der die Spitze der Spannungsschwingbreite im Rissquerschnitt stark unterschätzt.

Die ertragbare Ermüdungsfestigkeit gekrümmt geführter Spannkabel in injizierten Stahlhüllrohren liegt für $N = 2 \cdot 10^6$ Lastspiele im Bereich von $\Delta\sigma = 120$ bis 190 N/mm^2. Die Grösse der Spannungsschwingbreite hängt für Spannkabel in Stahlhüllrohren vorwiegend von der örtlichen Querpressung ab. Dabei ergeben sich keine ausgeprägten Unterschiede zwischen Spannkabeln aus Litzen oder parallelen Drähten. Zufällige, nicht kontrollierbare Schwankungen der Querpressung, die selbst bei sorgfältig verlegten Hüllrohren auftreten können, verdecken mögliche Unterschiede. Demgegenüber wird die Ermüdungsfestigkeit von Spannkabeln aus Litzen oder parallelen Drähten in entscheidendem Masse durch die Art des Hüllrohrmaterials bestimmt. Die Verwendung von Kunststoff anstelle von Stahl führt praktisch zu einer Verdoppelung der ertragbaren Spannungsschwingbreite. Währenddem Stahlhüllrohre im Bereich der Krümmung oft kantige Rippen aufweisen, die zu hohen Spannungskonzentrationen in den dort anliegenden Spanndrähten führen, können Kunststoffhüllrohre kleinere Knickstellen durch örtliches Verdrängen von Material ausgleichen. Um die Durchreibgefahr von Kunststoffhüllrohren während des Gebrauchszustandes auszuschliessen, dürfen diese nur im injizierten Zustand angewendet werden, damit die örtlich auftretende Relativverschiebung zwischen Spannglied und Hüllrohrwandung im Rissbereich des Bauteils möglichst klein bleibt.

Abschliessend soll nochmals mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass nur eine Eliminierung der Reibermüdung die Sicherheit von Bauwerken entscheidend erhöht. Dies kann erreicht werden, indem für schwingend beanspruchte Bauwerke mit teilweiser Vorspannung Kunststoffhüllrohre verwendet werden. Damit wird zusätzlich ein dauerhafter Schutz des Spannkabels gegen korrosive Einwirkungen erreicht.

RESUME

Cette dissertation présente une étude de la fatigue par frottement dans les poutres de béton partiellement précontraint. Elle est basée sur des travaux antérieurs effectués à l'Institut de Statique et Constructions à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich [68]. L'étude se compose d'essais en laboratoire détaillés et de travaux théoriques. Les forces de frottment qui peuvent être observées macroscopiquement on été étudiées de façon générale; quelques aspects de ces forces ont été confirmés par des essais en laboratoire.

L'ampleur des dégats provoqués par la fatigue par frottement dans un câble de précontrainte courbé et sollicité de façon cyclique dépend essentiellement du matériau de gaine utilisé. Dans presque toutes les applications antérieures de la précontrainte par post-tension des gaines en acier ont été utilisées. De nombreux essais ont révélé que des zones de frottement entre l'acier de précontrainte et les nervures de la gaine se produisent près des fissures engendrées par les moments de flexion. La fatigue au frottement à la surface du câble de précontrainte est le résultat de ces zones de frottement.

Afin d'éviter la fatigue au frottement, l'emploi de gaines en plastique a été proposé. Le comportement de gaines en plastique a été étudié et un nouveau profil de paroi développé. L'épaisseur de la paroi s'est avéré le plus important paramètre pour le dimensionnement de la gaine. Une installation d'essais à l'usure par frottement a été élaborée afin d'estimer le danger d'usure de la parois de la gaine lors de la mise en précontrainte.

La fatigue par frottement engendre des concentrations de contrainte locales, qui se superposent aux contraintes dues à la sollicitation cyclique. Les dégats à l'acier de précontrainte dues au frottement et les concentrations de contrainte se manifestent donc au même endroit. On a donc étudié en plus grand détail les contraintes locales dans le câble.

Les forces supplémentaires produites par le frottement du câble contre les nervures de la gaine agissent dans le sens opposé à la force dans le câble dans la zone de courbure. Ceci provoque une chute rapide dans la différence de contraintes dans la direction longitudinale. L'ampleur de ces forces supplémentaires est influencée par les pressions latérales de la valeur du coefficient de frottement. Les contraintes dans le câble sont aussi réduites par l'adhérence des fils

de précontrainte dans le matériau d'injection. L'étude révèle l'impossibilité de déterminer la différence de contraintes dans le câble par les déformations unitaires mesurées à la surface du béton, à cause de la réduction rapide de contrainte dans la zone fissurée de la poutre. La longueur de base normale, 200 à 300 mm, est beaucoup trop grande pour de telles mesures, relative à la diminution locale de la contrainte, et ne peut fournir que des valeurs moyennes qui sousestiment considérablement la contrainte maximale à la section fissurée.

La différence de contrainte supportable pour $2 \cdot 10^6$ cycles de charge se situe entre 120 et 190 N/mm^2 pour un câble de précontrainte dans une gaine d'acier injectée. La différence de contrainte admissible est essentiellement une fonction de la pression latérale locale.

Aucune différence notable n'a été observée dans le comportement de fils parallèles de torons en ce qui concerne la fatigue par frottement. Toute différence entre le comportement de fils et de torons est dissimulée par des variations aléatoires inévitables dans la pression latérale, qui peuvent se produire même quand le câble est mis en place avec soin. La résistance à la fatigue de câbles de torons ou de fils est déterminée en grande partie par le matériau de gaine utilisé. L'emploi du plastique au lieu de l'acier conduit à une différence de contrainte supportable presque deux fois plus grande. Les nervures dans les gaines en acier sont parfois aigües et peuvent provoquer de grandes concentrations de contraintes dans les fils voisines. Les gaines en plastique, cependant, peuvent compenser ces effets par un déplacement de matériau. Les gaines en plastique devraient toujours être injectées, afin de prévenir l'usure durant l'utilisation. Ceci aura l'effet de maintenir les déplacements relatives des fils et des parois de la gaine aussi petits que possible dans les zones fissurées.

La sécurité de la construction ne peut être assurée que par l'élimination de la fatigue par frottement. Ceci peut être réalisé dans des constructions en béton partiellement précontraint soumises aux sollicitations cycliques avec l'emploi de gaines en plastique. Les gaines en plastique fournissent en plus une protection contre la corrosion améliorée.

SUMMARY

An investigation of the influence of fretting fatigue in partially prestressed concrete beams is presented in this dissertation. It extends, by means of further detailed investigations and theoretical considerations of the fretting fatigue phenomenon, previous work in this area, also conducted at the Institute of Structural Engineering of the Swiss Federal Institute of Technology Zürich [68]. In the present study, the macroscopically observable friction forces were treated in a general form; individual aspects of these forces were confirmed by experimental investigations.

The extent of damage produced in a cyclically loaded draped tendon depends to a great extent on the duct material. The duct material used in almost all previous applications of bonded post-tensioning has been steel. Numerous tests have shown that, when steel ducts are used, zones of friction develop between the prestressing steel and the ribs of the duct in regions of flexural cracking [68, 78]. This friction is responsible for the early occurrence of fretting fatigue at the surface of the prestressing steel. For this reason, the use of plastic ducts was investigated and a new duct profile was developed. Wall thickness was found to be the most important design parameter for plastic ducts. A test installation was developed in order to estimate the danger of the wire rubbing through the plastic duct during stressing.

In cyclically loaded partially prestressed structures, local stress concentrations occur as a result of fretting fatigue; these are superimposed onto the stress range due to cyclic load. The stress concentrations and the material damage thus coincide at the point of friction. The local stresses produced in the tendon were therefore investigated in greater detail.

The additional forces which result from friction between the tendon and the ribs of the duct act in opposite sense to the tendon force in the region of curvature. This produces a rapid reduction of the stress range in the longitudinal direction. The magnitude of the additional forces is influenced by local lateral pressure and the value of the friction coefficient. The stresses in the prestressing tendon are also reduced due to the bond between the prestressing wires and the surrounding grout. This study reveals that, due to the rapid reduction of the stress in the region of cracking in the beam, the stress range in the prestressing tendon cannot be evaluated from strains measured at the surface of

the concrete. Measurements made using the usual gage length of 200 to 300 mm, which is much too large in comparison with the local reduction of the stress, will yield only average values which greatly underestimate the peak stress at the cracking section.

The stress range corresponding to fatigue failure at two million load cycles for draped prestressing tendons in grouted steel ducts varies between 120 and 190 N/mm^2. The allowable stress range is largely a function of local lateral pressure. No significant difference was observed between strands and wires with regard to fretting fatigue behavior. Any possible difference between the two types of tendon is effectively concealed by unavoidable random variation in lateral pressure, which can occur even in carefully placed ducts. The fatigue resistance of both strand and wire tendons does, however, depend to a great extent on the duct material. The use of plastic as opposed to steel resulted in an increase in the allowable stress range by a factor of almost 2. Steel ducts sometimes exhibit sharp edged ribs in regions of tendon curvature, which can produce large stress concentrations in the adjacent wires. Plastic ducts, however, can compensate for these defects by a local displacement of duct material. In order to prevent the wires from wearing through the plastic during service, plastic ducts should always be grouted, thus minimizing the local relative movement between prestressing steel and the duct walls in the cracked regions of the beam.

Structural safety can only be significantly increased by completely eliminating fretting fatigue. This can be accomplished in cyclically loaded partially prestressed structures through the use of plastic ducts. The use of plastic ducts has the additional advantage of increasing the corrosion protection of the tendon.