

Ein neuer Anker – Sandanker im Sandstein

Einführung

Eine traditionelle Methode zur Stabilisierung von gefährdetem Fels in Höhlen ist die Verankerung mit Zementmörtelankern. Diese Anker besitzen jedoch beträchtliche Nachteile, so daß sie für die Dafosi-Grotte nicht geeignet sein dürften. Sie sind nicht reversibel. Lösliche Alkalien im Zement können eine zusätzliche Salzbelastung und weitere Verwitterung des Sandsteins verursachen. Der bei der Ausführung des Mörtelankers einzupressende Zement kann in die Risse des gefährdeten Felsens fließen. Dies kann zu einer weiteren Entfestigung des gefährdeten Felsens führen. Der Zement kann aufgrund des Injektionsdrucks an unerwünschten Stellen austreten und die Gesteinsoberfläche beschädigen. Auch die Korrosion der Metallanker stellt langfristig ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenpotential dar. Um die Nachteile des Mörtelankers zu vermeiden, wurde ein neuer Anker – genannt Sandanker – entwickelt, der mit natürlichem trockenem Sand als Füllungsmaterial eingebaut wird.

System und Verfahren

Das System des Sandankers wird in Abbildung 1 gezeigt. Ein Sandanker besteht aus einer Stahlstange, einer Fußplatte, einer Dichtung, einer Stahlplatte, einer Mutter und trockenem Sand.

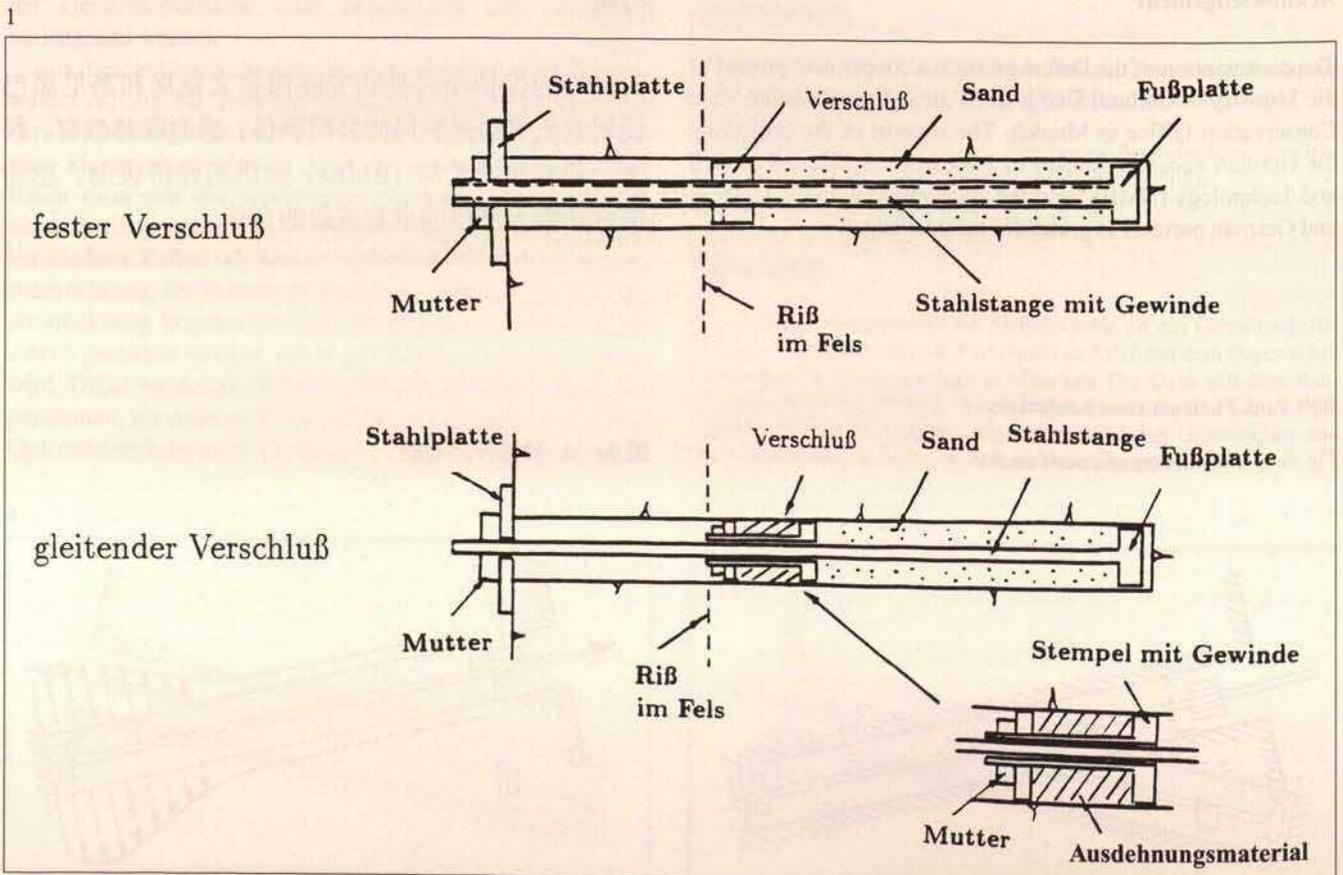
A New Type of Anchor – Sand Anchors in Sandstone

Introduction

A traditional method to stabilise endangered rocks in caves is the use of cement mortar anchors. These anchors have considerable disadvantages, however, that make them unsuitable for use in the Dafosi grotto. They are not reversible. Soluble alkalies in the cement can cause an additional salt contamination and further weathering of the sandstone. The cement pressed in whilst implementing the mortar anchor can flow into the cracks of the endangered rock, leading to a further weakening of the sandstone. The pressure present on injection can also cause the cement to come out in the wrong places and damage the stone's surface. Furthermore, the potential danger in the long term due to the corrosion of the metal anchor should not be underestimated. To avoid the problems associated with the mortar anchor a new type of anchor – called a sand anchor – was developed, which is filled with dry sand.

Method and Procedure

Figure 1 shows the method used with the sand anchor. The anchor consists of a steel rod, a footplate, a plug, a steel plate, a nut and dry sand. Two types of plug can be used: one is moveable and the other fixed.



一种新型岩石加固锚杆—砂锚杆

前言

砂浆锚杆常用于加固洞室及山坡危岩。若遇由横向裂缝或裂隙所切割的悬空危岩，压力砂浆进入横向缝隙，可能使悬空危岩进一步松动。对有特殊环境要求的危岩，砂浆可能与岩石产生不良的化学反应。为解决这一矛盾，同时为节省水泥用量，便于施工，提出了一种以天然干砂为充填料的新型锚杆—砂锚杆。

砂锚杆的构造及工作原理

砂锚杆构造如图一所示。他由钢杆，锚杆扩头，封口，压板及预压螺母所组成，以天然干砂为充填料。据封口方式不同，可分为滑动封口式砂锚和固定封口式砂锚两种。

砂锚的构造 (见图 1)

滑动封口时，封口部件由于封口膨胀螺栓的挤压紧贴于岩石洞壁，而钢杆与封口间有微小滑动缝隙，锚杆受拉时，封口由于与孔壁之间有摩擦作用而不滑动，封口与钢杆间则可产生滑动。与此同时，做为充填料的天然砂则自 B 至 A 被压密，其后又出现剪胀，充填料与孔壁间产生较大摩擦力，从而提供较大抗拔力。只有当充填砂被充分压密甚至压碎后，封口部件才产生滑动，这时拉力才达峰值。这种由于砂体压密所产生的位移在设置锚杆时业以完成。

◁ Abb. 1. Darstellungen von Sandankern mit festem und mit gleitendem Verschluss

Fig. 1. Diagram of the sand anchors with fixed and moveable plugs

图 1. 砂锚的构造

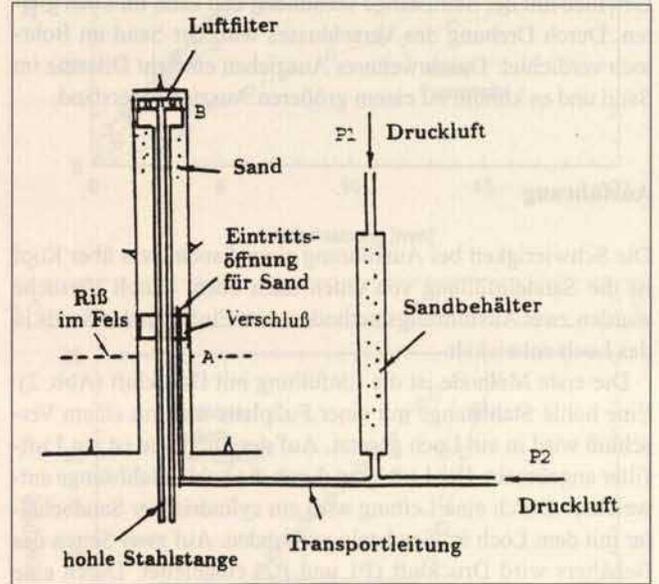


Abb. 2. Füllung eines Sandankers mit Hilfe von Druckluft

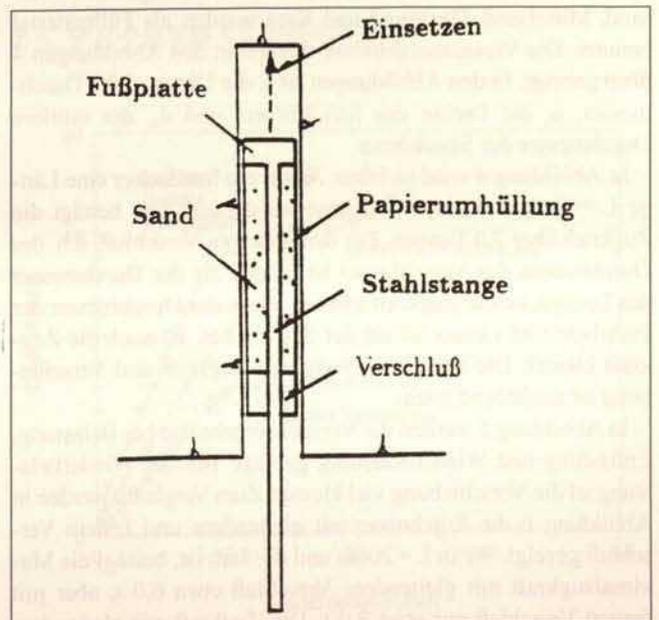
Fig. 2. Filling a sand anchor with the help of compressed air

图 2. 气压灌入式

Abb. 3. Füllung eines Sandankers mit Hilfe einer Papierumhüllung

Fig. 3. Filling a sand anchor with the help of paper

图 3. 包装插入式



Zwei Arten von Verschlüssen können benutzt werden. Einer ist gleitend, der andere ist fest.

Mit einem gleitenden Verschluss entsteht infolge des Verspannens des Ausdehnungsmaterials eine große Reibung zwischen dem Verschluss und der Innenwand des Bohrlochs. Die Stahlstange kann in dem Verschluss gleiten. Durch Drehung der Mutter wird der Sandanker gespannt und gleichzeitig der das Loch ausfüllende Sand verdichtet. Der feste Verschluss wird durch das Gewinde mit der Stahlstange verbunden und kann im Loch gleiten. Durch Drehung des Verschlusses wird der Sand im Bohrloch verdichtet. Durch weiteres Ausziehen entsteht Dilatanz im Sand und es kommt zu einem größeren Ausziehungswiderstand.

Ausführung

Die Schwierigkeit bei Ausführung eines Sandankers über Kopf ist die Sandeinfüllung von unten nach oben. Durch Versuche wurden zwei Ausführungsmethoden zum Einfüllen des Sands in das Loch entwickelt.

Die erste Methode ist die Einfüllung mit Druckluft (Abb. 2). Eine hohle Stahlstange mit einer Fußplatte und mit einem Verschluss wird in ein Loch gesetzt. Auf der Fußplatte ist ein Luftfilter angebracht. Die Luft kann durch die hohle Stahlstange entweichen. Durch eine Leitung wird ein zylindrischer Sandbehälter mit dem Loch im Sandstein verbunden. Auf zwei Seiten des Behälters wird Druckluft (P1 und P2) eingeleitet. Durch eine Druckdifferenz P1-P2 wird der Sand durch die Leitung in das Loch transportiert, und das Loch wird von B bis A mit Sand gefüllt. Durch Drehung der Mutter wird der Sand im Loch verdichtet.

Die zweite Methode ist die Verpackung mit Papier (Abb. 3). Der Sand wird mit einer Papierhülle zwischen der Fußplatte und dem Verschluss versehen, dann wird diese Sandpackung in das Loch eingesetzt. Bei der Drehung des Verschlusses wird der Sand verdichtet.

Zugkraft und Verschiebung

Um die Zugkraft des Sandankers zu untersuchen, wurden einige Ausziehversuche mit Sandstein im Labor durchgeführt. Feinsand, Mittelsand, Grobsand und Kies wurden als Füllmaterial benutzt. Die Versuchsergebnisse werden in den Abbildungen 4 bis 9 gezeigt. In den Abbildungen ist L die Länge, d der Durchmesser, ρ_s die Dichte des Sandkörpers und d_{50} der mittlere Durchmesser der Sandkörner.

In Abbildung 4 wird sichtbar: Wenn ein Sandanker eine Länge $L=40\text{cm}$ und einen Durchmesser $d=4\text{cm}$ hat, beträgt die Zugkraft über 7,0 Tonnen. Für den lockeren Verschluss, d.h. der Durchmesser des Verschlusses ist kleiner als der Durchmesser des Loches, ist die Zugkraft kleiner. Wenn der Durchmesser der Fußplatte viel kleiner ist als der des Loches, ist auch die Zugkraft kleiner. Die Beziehung zwischen Zugkraft und Verschiebung ist annähernd linear.

In Abbildung 5 werden die Versuchsergebnisse bei Belastung, Entlastung und Wiederbelastung gezeigt. Bei der Wiederbelastung ist die Verschiebung viel kleiner. Zum Vergleich werden in Abbildung 6 die Ergebnisse mit gleitendem und festem Verschluss gezeigt. Wenn $L=20\text{cm}$ und $d=4\text{cm}$ ist, beträgt die Maximalzugkraft mit gleitendem Verschluss etwa 6,0 t, aber mit festem Verschluss nur etwa 3,0 t. Die Zugkraft mit gleitendem

When a moveable plug is used a high friction results between the plug and the inner wall of the borehole due to the expansion of the material in the plug. The steel rod can move in the plug. The sand anchor is fixed by tightening the nut, while at the same time the sand in the hole is compressed. The fixed plug is screwed to the steel rod and can then slide into the hole. By rotating the plug the sand is compressed in the borehole. Further extraction causes a dilatation in the sand, leading to a greater resistance against being pulled out.

Implementation

The difficulty with implementing a sand anchor into the ceiling lies in the insertion of the sand filling from bottom to top. Two methods to fill the sand into the hole have been developed through experimentation.

The first method uses compressed air (fig. 2). A hollow steel rod with a footplate and plug is positioned in the hole. An air filter is attached to the footplate, the air being allowed to escape through the hollow rod. A cylindrical sand container is connected to the hole in the sandstone by a tube. Compressed air is introduced at two sides of the container (P1 and P2). Due to a difference in pressure, P1-P2, the sand is transported through the tube into the hole, which is then filled from B to A. The sand in the hole is then compressed by tightening the nut.

The second method uses sand wrapped in paper (fig. 3). The sand between the footplate and the plug is surrounded by paper. The package is then placed in the hole and compressed by rotating the plug.

Tensional Force and Displacement

To investigate the tensional force of the sand anchor a few attempts to remove the anchor from sandstone were carried out in a laboratory. Fine, intermediate and coarse sand, as well as gravel, were used as a filling. The results are shown in figures 4 to 9. L is the length, d the diameter, ρ_s the sand's density and d_{50} the average diameter of the grains.

Figure 4 shows that when the sand anchor's length $L=40\text{cm}$ and its diameter $d=4\text{cm}$ the tensional force is over 7.0 tons. With a loose plug, i.e. when the diameter of the plug is smaller than that of the hole, the tensional force is lower. The same is true when the diameter of the footplate is significantly smaller than the diameter of the hole. The relationship between tension and displacement is approximately linear.

The results of the tests involving pulling, release and renewed pulling are shown in figure 5. The displacement is notably smaller on the second application of force. Figure 6 compares the results gained with moveable and fixed plugs. When $L=20\text{cm}$ and $d=4\text{cm}$ the maximum tensional force with a moveable plug is approximately 6.0 t, and with a fixed plug only 3.0 t. The tensional force with a moveable plug is therefore considerably larger than with a fixed plug.

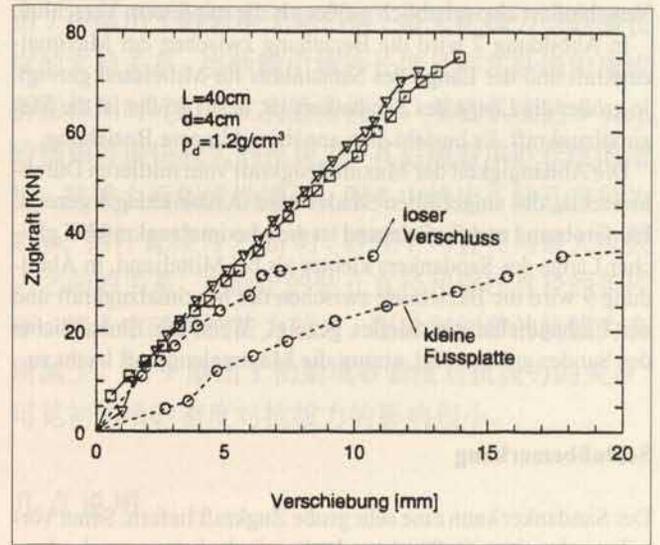
Figure 7 shows the relationship between the maximum tensional force and the length of the sand anchor filled with sand of intermediate grain. The longer the length of the anchor, the greater the maximum tensional force. An approximately linear relationship exists.

固定封口时，钢杆可采用螺纹钢筋，封口与钢杆间由螺纹咬合。旋紧封口时，充填砂即被压密。锚杆受拉时，封口和钢杆整体滑动。当充填砂预先被充分压密时，也会出现剪胀，抗拔力较大。

施工方法

为方便施工，通过反复试验摸索，提供了两种可供采用的施工方法：

1. 气压灌入式 (见图 2): 气压灌入时，钢杆为空心钢杆，封口部件上留有进砂孔，空心钢杆的 B 端设有丝网或泡沫过滤，封口与孔壁应尽可能密合。施气压 P1、P2 于筒式盛砂器的上下两端，P2 由输砂管的长度及输砂高度而定，P1-P2 则由盛砂器的高度控制。在压力差 P1-P2 作用下，砂从盛砂器中流出，在 P2 作用下，砂经输砂管输入钻孔中，由于钻孔 B 端经空心管与大气相通，则 B 端压力总小于 A 端，干砂则可在垂直向下的孔洞中自上而下被填满，注满砂后，可旋紧封口 (固定式)，或旋紧封口膨胀螺栓 (滑动式) 使砂压密。
2. 包装插入式 (见图 3): 将天然干砂用纸包裹在钢杆上，纸筒上下端固定在锚杆扩头及封口上。将该预制砂锚插入钻孔中，旋紧封口 (固定式) 或旋紧封口膨胀螺栓 (滑动式) 使砂压密。该方法施工简单，但锚杆较长时，在纸筒外应用胶布或胶纸扣紧，以保证预制砂锚为园筒形，便于插入钻孔中。



4 Δ

5 ∇

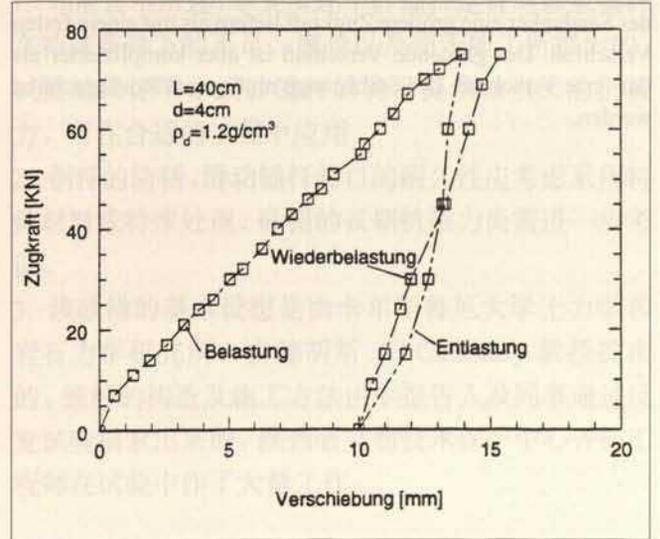


Abb. 6. Zugkraft eines Sandankers bei gleitendem und festem Verschluss

Fig. 6. Tensional force of a sand anchor using moveable or fixed plug

图 6. 砂岩中包装插入式砂锚的抗拔力

Abb. 4. Zugkraft eines Sandankers bei unterschiedlicher Größe der Fußplatte

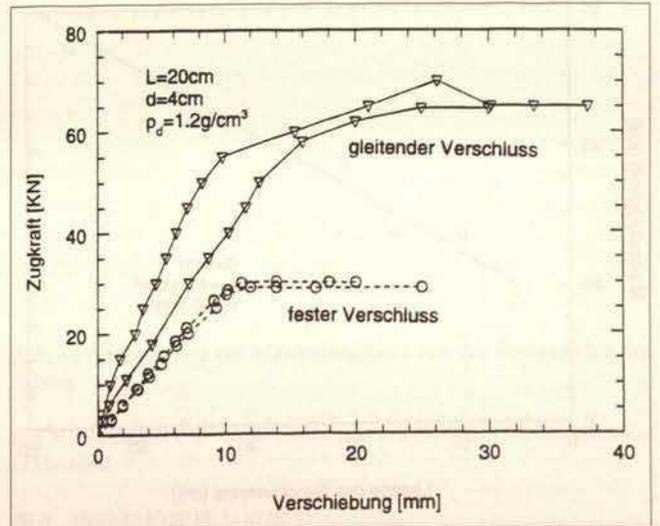
Abb. 5. Zugkraft eines Sandankers bei Belastung, Entlastung und Wiederbelastung

Fig. 4. Tensional force of a sand anchor using different sizes of foot-plates

Fig. 5. Tensional force of a sand anchor being pulled, released and pulled again

图 4. 混凝土钻孔中滑动封口砂锚抗拔力

图 5. 混凝土钻孔中滑动封口，预拔及再拔抗拔力



6 ∇

Verschluß ist also erheblich größer als die mit festem Verschluß.

In Abbildung 7 wird die Beziehung zwischen der Maximalzugkraft und der Länge des Sandankers für Mittelsand gezeigt. Je größer die Länge des Sandankers ist, desto größer ist die Maximalzugkraft. Es besteht eine annähernd lineare Beziehung.

Die Abhängigkeit der Maximalzugkraft vom mittleren Durchmesser d_{50} des eingefüllten Sandes wird in Abbildung 8 gezeigt. Für Grobsand und für Feinsand ist die Maximalzugkraft bei gleicher Länge des Sandankers kleiner als bei Mittelsand. In Abbildung 9 wird die Beziehung zwischen der Maximalzugkraft und der Einbaudichte des Sandes gezeigt. Wenn die Einbaudichte des Sandes größer wird, nimmt die Maximalzugkraft leicht zu.

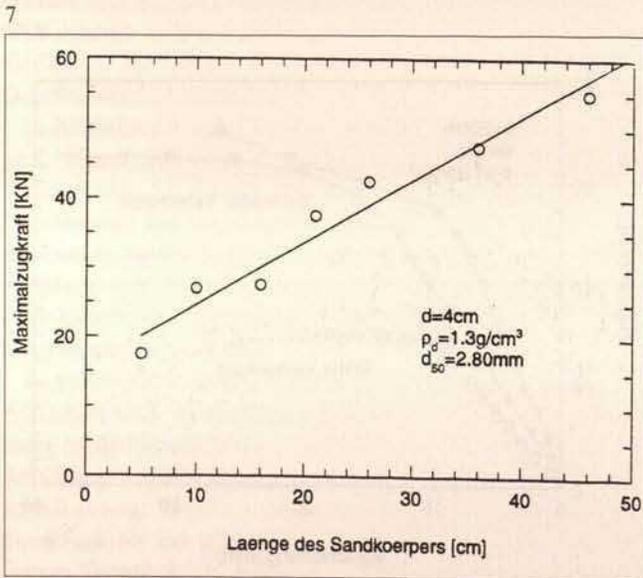
Schlußbemerkung

Der Sandanker kann eine sehr große Zugkraft liefern. Seine Vorteile sind geringe Gefährdung der Originalsubstanz, rasche Ausführung, geringe Kosten. Mit einem gleitenden Verschluß kann der Sandanker eine größere Zugkraft liefern als mit einem festen Verschluß. Der gleitende Verschluß ist aber komplizierter als der feste Verschluß. Die Stahlstange muß gegen Rost geschützt werden.

Abb. 7. Abhängigkeit der Maximalzugkraft eines Sandankers von der Länge des Sandkörpers

Fig. 7. Dependence of the sand anchor's maximum tensional force on the length of the sand filling

图 7. 最大抗拔力与砂锚长度的关系



The dependence of the maximum tensional force on the average diameter d_{50} of the sand grains is presented in figure 8. The maximum tensional force with fine or coarse sand is smaller than when using intermediate sized grains, the length of the sand anchor remaining the same. Figure 9 shows the relationship between the maximum tensional force and the compactness of the sand. If the sand is more compact the maximum tensional force slightly increases.

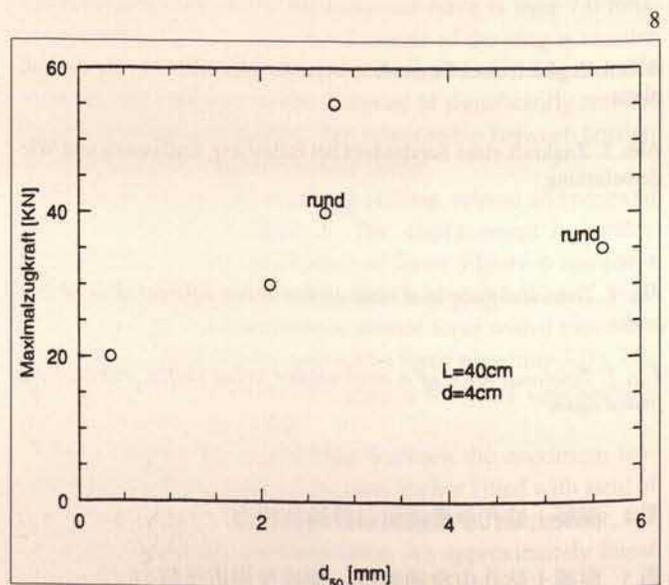
Conclusion

The sand anchor can produce a very large tensional force. Its advantages are the low risk to the original stone, the quick implementation and the low cost. A larger tensional force can be supplied using a moveable, rather than a fixed, plug, although the moveable plug is more complicated than the fixed one. The steel rod would have to be protected against rust.

Abb. 8. Abhängigkeit der Maximalzugkraft vom mittleren Durchmesser d_{50} des eingefüllten Sandes

Fig. 8. Dependence of the maximum tensional force on the average diameter d_{50} of the sand grains

图 8. 砂粒平均值与抗拔力



抗拔力

为了解这种锚杆的抗拔性能，在室内的混凝土以及卡尔斯鲁厄 (Karlsruhe) 砂岩钻孔中进行了抗拔试验。试验用砂为卡尔斯鲁厄 (Karlsruhe) 中砂及粗砂。试验结果见图 4, 图 5, 图 6。图中 L 为锚杆灌砂段长度, D 为钻孔直径, ρ_d 为砂的初始密度, d_{50} 为砂粒的平均直径。

试验结果表明: 长为 40cm 的滑动式锚杆在混凝土钻孔中的抗拔力可大于 7.0 吨; 位移与拔力之间基本为线性关系 (图 4)。预拔后再拔的位移将大为减小 (图 5)。砂岩中的抗拔试验表明: 位移与抗拔力的关系在极限抗拔力之前也基本为线性关系 (图 6)。由于封口在孔中一定深度处, 抗拔力达最大值后基本保持不变, 直至将锚杆全部拔出时拔力才下降。对比在混凝土和砂岩中的试验结果表明: 硬质岩石中的抗拔力较软质岩石中的抗拔力大。试验结果还表明: 滑动封口式砂锚的抗拔力较固定封口式砂锚的抗拔力大。必须说明的是: 由于抗拔力远大于预计的抗拔力, 几次试验中钢杆被拔断, 为此混凝土中的试验未出现峰值。值得注意的是: 对于滑动封口式砂锚, 封口与孔壁之间的摩擦力应足够大, 否则砂未被充分压密时, 封口部件即被同时拔出, 其抗拔力将会降低, 当锚杆扩头直径较小时, 抗拔力也会降低, 上拔位移也较大。

图 7 中给出了砂岩中无封口时, 最大抗拔力与砂锚长度的实验关系。当砂锚中填砂长度足够在砂锚中造成剪胀作用时 (如: 在实验条件下, 填砂长度达 5 cm), 砂锚则可提供较大的抗拔力, 其后随着填砂长度的增加, 抗拔力近似线性增长。图 8 中给出了钻孔直径为 4 cm, 钢杆直径为 2 cm 时, 砂粒平均直径与最大抗拔力之间的关系, 在给定的钻孔直径和钢杆直径的条件下, 填入中砂的抗拔力较大, 粗砂和细砂的抗拔力有所减少。图 9 给出了初始填砂密度对抗拔力的关系, 可见初始填砂密度对抗拔力的影响很小。

几点说明

1. 如前言中所述, 本文所述干砂锚杆是针对砂浆锚杆在特殊条件下的不足, 廉价以及便于施工所提出的。试验结果证明, 该砂锚杆的确可提供相当大的抗拔力, 可在合适的工程中应用。
2. 钢杆的防锈, 滑动锚杆封口的耐久性应考虑采用特殊材料或特殊处理, 砂锚的长期抗拔力尚需进一步考证。
3. 该砂锚的基本设想是由卡尔斯鲁厄大学土力学和岩石力学研究所, 古德胡斯 (G.Gudehus) 教授提出的。锚杆的构造及施工方法由本报告人及同事通过反复试验摸索出来的。陕西省文物技术保护中心齐扬工程师在试验中作了大量工作。

9

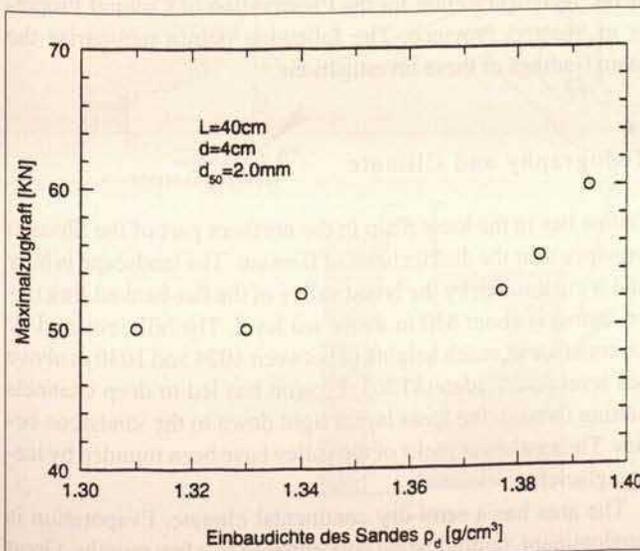


Abb. 9. Abhängigkeit der Maximalzugkraft von der Einbaudichte des Sandes

Fig. 9. Dependence of the maximum tensional force on the compactness of the sand

图 9. 填砂初始密度与抗拔力