

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1049/82

(51) Int.Cl.⁵ : **C09K 17/00**

(22) Anmeldetag: 16. 3.1982

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 6.1990

(45) Ausgabetag: 10.12.1990

(30) Priorität:

19. 3.1981 JP 40154/81 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

FR-PS2530652

(73) Patentinhaber:

TAKAO ENTERPRISE CO., LTD.
NIIGATA-KEN (JP).

(54) VERFESTIGUNGSEINSPRITZMITTEL ZUR VERBESSERUNG VON WEICHEM, ORGANISCHES MATERIAL ENTHALTENDEM BODEN

(57) Zum Verbessern der strukturellen Festigkeit von weichem, organisches Material enthaltendem Boden wird ein Verfestigungseinspritzmittel bestehend aus Zement, Bentonit, Wasser und einem natürlich vorkommenden Material verwendet, das an vorbestimmten Stellen eingespritzt wird und das sich nach dem Einspritzen in situ selbst verfestigt.

AT 391 872 B

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfestigungseinspritzmittel zum Verbessern von weichem, organisches Material enthaltendem Boden und auf ein Verfahren zur Verbesserung eines derartigen Bodens unter Verwendung des obigen Mittels.

Da sich der Anteil an wirksam verwertbarem Land mit dem weiteren Fortschreiten der sozialen Entwicklung vermindert, scheint es, daß staatliche technische Arbeiten und Landentwicklung, die bisher auf die Wahl von Orten mit relativ günstigen Bodenbedingungen gerichtet waren, allmählich in ihrer Auswahl auf Beschränkungen stoßen. Das Ergebnis war weitere Forschung nach verschiedenen Methoden der Durchführung staatlicher technischer und Landentwicklungsprojekten an Orten, wo schlechte Unterbodenbedingungen bestehen, und es wurde gefunden, daß ein wesentliches Erfordernis darin besteht, den Boden, der nicht zufriedenstellend ist, zu verbessern und zu verfestigen. Eine Methode, die üblicherweise für die sichere und rasche Errichtung von Bauwerken auf einem derartigen nicht-zufriedenstellenden Boden ausgeübt wird, ist eine Imprägnierungsmethode, gemäß welcher ein verfestigendes Material zu dem Zweck in den Boden eingespritzt wird und diesen imprägniert, um Wasser abzusperren und den Boden so zu verbessern. Die am meisten verbreitete Form eines derartigen Untergrundes in Japan hat viskose Eigenschaften, die, was Kompressibilität und Festigkeit betrifft, besonders schlecht sind. Insbesondere schaffen weiche oder schwache, organisches Material, wie Torf, verschimmelte Blätter und viskose Huminerde enthaltende Untergründe die Hauptprobleme, auf die man trifft, wenn man ein Projekt auf derartigen Flächen startet. Trotz täglicher Fortschritte in der Technologie bleibt die Tatsache bestehen, daß die tatsächlichen Bedingungen, die in einem derartigen Untergrund vorherrschen, derzeit noch nicht ganz verstanden werden.

Im Zusammenhang mit der oberwähnten Imprägnierung gibt es drei wohlbekannte Methoden, diese bei Böden der oberwähnten Art anzuwenden. Diese sind:

- 1) ein Einspritzen in Leerräume, wobei das Verfestigungsmaterial veranlaßt wird, die Zwischen- oder Leerräume zwischen den Erdteilchen oder Teilchen aus organischem Material zu imprägnieren,
- 2) eine vibrierende Imprägnierung, wobei das Eindringen des Verfestigungsmaterials in die schwächeren Stellen der weichen Bodenschicht natürlich vor sich gehen gelassen wird, und
- 3) eine pfahlartige Imprägnierung, gemäß welcher die weiche Bodenschicht in die Form von Zylindern geführt und dann mit dem Verfestigungsmittel vermischt wird, wobei die Zylinder dadurch zu Grundpfählen härten, wobei aus dem tragenden Boden selbst die eigentlichen lasttragenden Träger in Form von gehärteten Bodenpfählen gebildet werden.

Das ökonomischste und allgemein verwendete Imprägnierungsmaterial ist Zement, bei dem es sich im wesentlichen um Portlandzement oder Flugaschenzement handelt. Ein derartiges Material ist anorganisch und belastet daher im Gegensatz zu eingespritzten chemischen Mitteln oder dgl. die Umwelt nicht. Es sei jedoch bemerkt, daß die Verwendung von Imprägnierungsmaterialien auf Zementbasis die folgenden Nachteile hinsichtlich organischen Bodens mit sich bringt:

(I) Der Härungsmechanismus von Zement, in dem Kalzium 60 % der gesamten Bestandteile ausmacht, stammt von der Reaktion des Kalziumions. Wenn der Boden, in den der Zement eingespritzt wird, organische Bestandteile enthält, werden diese Komponenten auf die Kalziumionen adsorbiert, was einen Verlust der Härungscharakteristika des Zements zur Folge hat. Das Endergebnis ist ein ausgeprägter Abfall der erzielbaren Festigkeit beim Härten. Die Durchführung von Zementbehandlungen in Gebieten, wo der weiche Untergrund große Anteile an organischem Material enthält, ist daher verboten. Demgemäß wurde, wie wohl bekannt ist, die Kalkbehandlung als Alternative zur Zementbehandlung gewählt. Trotzdem hat sich herausgestellt, daß auch die Verwendung von Kalk in weichem Grund mit einem Humingehalt, der aus Torf, verschimmelten Blättern oder dgl. besteht, von mehr als 0,05 %, keinen Vorteil bringt da keine Härtung stattfindet.

(II) Da organisches Material enthaltender Boden weich und daher nicht tragfähig ist, trifft man in dem Bestreben, die Tragfähigkeit zu verbessern, auf folgende Schwierigkeiten:

a) Man kann erwarten, daß organisches Material enthaltender Boden fast keinen Reibungswiderstand bietet. Wenn sich daher einmal eine Schwäche in einem Teil eines Grundpfahles als Folge von Vibration oder aus irgendeinem anderen Grund entwickelt, besteht die Gefahr, daß ein derartiger Fehler zum anschließenden Zusammenbrechen des Bodens als ganzem führt.

b) Organischer Boden und die Bodenpfähle bilden keinen einheitlichen Körper und bilden daher auch keine Bodenschicht des zusammengesetzten Typs. Wenn somit eine Beanspruchung, wie eine Last, aufgebracht wird, wirkt die Beanspruchung nur auf die Pfähle und kann eine Zerstörung derselben sowie eine markante Entstabilisierung des Bodens als ganzen verursachen.

c) Da aus dem Reibungswiderstand aus dem unter a) angegebenen Grund keine Unterstützung erhalten werden kann, muß der Boden direkt unterhalb des Pfahles so sein, daß er die Last tragen kann. Dies kann in Fällen, wo die weiche Bodenschicht eine erhebliche Dicke aufweist, äußerst unökonomisch sein.

(III) Beispiele von Verfahren zum Verbessern von organischem Boden durch Verfestigung ohne irgendwelche Imprägnierung sind die herkömmlichen Methoden von (a) Dehydratisierung und Kompaktierung durch vertikale Drainage, (b) Verdrängen eines Teiles des weichen Grundes und (c) Dehydratisierung und Kompaktierung dadurch, daß Erde und Sand auf den Boden bis zu einer geeigneten Tiefe aufgebracht werden. Es sei jedoch bemerkt, daß diesen Methoden ein allgemeines Problem innewohnt. Insbesondere erfordern die Methoden (a) und (c) gewöhnlich die Anwendung einer Last, um das Porenwasser "auszuquetschen", welche Last oft durch eine

Sandmatte oder dgl. vorgesehen wird. Sand ist auch üblicherweise das Material, das zum Ersetzen der in Methode (b) entfernten Erde verwendet wird.

Da weicher, organisches Material enthaltender Boden aus Alluvia (Anschwemmungen) besteht, die einen hohen Grundwassergehalt aufweisen, ist der Anteil an Setzung oder Senkung auf Grund der Belastung offensichtlich groß. Wenn der weiche Boden einer kontinuierlichen Belastung in Form von Sand ausgesetzt ist, entwickelt sich unterhalb des seichten Grundwasserspiegels eine gesättigte, lose Sandschicht. Wenn diese Sandschicht eine Dicke von 2 m übersteigt und der obere Teil derselben von einem Straßenbelag, einer zum Bauen vorbereiteten Landfläche oder einer wasserundurchlässigen Struktur, wie einem Erddamm längs einer Straße bedeckt und abgeschlossen ist, kann Vibration oder eine ähnliche Störung des Bodens auf Grund von Thixotropie bewirken, daß sich eine sogenannte Fluidisierung in der unter dem Wasserspiegel liegenden losen Sandschicht entwickelt. Die schwere Instabilität als Folge einer derartigen Fluidisierung kann zu der völligen Zerstörung der gesamten Strukturen führen.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung stellt insoferne eine wesentliche Verbesserung des Standes der Technik dar, als die Kosten im Vergleich zu den herkömmlichen Methoden um mehr als 30 % vermindert werden können.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist somit die Lösung jener Probleme, auf die man trifft, wenn Bodenimprägnierung auf weichen oder schwachen, organisches Material enthaltenden Boden angewandt wird.

Erfindungsgemäß wird es möglich, leicht verfügbare billige Materialien auszunützen sowie Industrie- und landwirtschaftliche Abfälle einer Verwendung zuzuführen.

Demgemäß bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Verfestigungseinspritzmittel zum Verbessern der strukturellen Festigkeit von weichem, organisches Material enthaltendem Boden, das in oberflächennaher Schicht mit Breitenwirkung vordringt, welches Mittel dadurch gekennzeichnet ist, daß es Zement, Bentonit, Wasser und Substanz A in den Verhältnissen 1,0 : 0,1 bis 2,0 : 1,0 bis 3,5 : 0,5 bis 2,0 aufweist, wobei die Substanz A aus Vulkanasche, pulverförmigen Holzabfällen, pulverförmigen Kunststoffabfällen, Kohlenasche aus Wärmekraftwerken, Getreideschalen oder dgl. landwirtschaftlichen Abfällen in Pulverform, Asche von Verbrennungsanlagen und/oder einem anderen leicht verfügbaren, fein zerteilten natürlichen oder Abfallmaterialien mit einer ähnlichen niedrigen spezifischen Masse besteht.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, nämlich, daß die Substanz A Sand ist, weist das Mittel Zement, Sand, Bentonit und Wasser in den Verhältnissen 1,0 : 2,0 bis 8,0 : 0,1 bis 1,5 : 0,5 bis 3,0 auf.

Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf ein Verfahren zum Verbessern der strukturellen Festigkeit von weichem, organisches Material enthaltendem Boden unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Mittels, wobei zumindest ein Teil des Bodens ersetzt wird, in dem das Mittel an bestimmten Stellen zur Verfestigung eingespritzt wird, wobei sich das Mittel nach dem Einspritzen in situ selbst verfestigt. Als Folge der Verfestigung werden die umgebenden Teile des Bodens, die nicht ersetzt wurden, derart komprimiert, daß Grundwasser ausgepreßt wird und die betreffenden Teile kompaktiert werden.

Methoden zum Durchführen der vorliegenden Erfindung in der Praxis gehen aus den vorhergehenden Ausführungen im Zusammenhang mit der Zeichnung hervor, in der Fig. 1 eine schematische Ansicht des Grundprinzips der vorliegenden Erfindung darstellt, Fig. 2 eine schematische Ansicht, die die Beziehung zwischen dem erfindungsgemäßen Verfahren und einem herkömmlichen Verfahren erläutert, ist, Fig. 3 eine schematische Ansicht der mit dem erfindungsgemäßen Mittel verwendeten Vorrichtung ist und Fig. 4 eine schematische Darstellung der drei Stufen der mit dem erfindungsgemäßen Mittel angewendeten Konstruktionsmethode zeigt.

Die zur Verbesserung und Verstärkung des Bodens nötigen Maßnahmen, wie sie konventionell praktiziert werden, können allgemein in die folgenden vier Gruppen eingereiht werden: (1) Dehydratisierung, (2) Kompaktierung, (3) Verfestigung oder Härtung und (4) Verdrängung. Es gibt viele Beispiele von Fällen, wo gemäß herkömmlicher Praxis die obigen Prinzipien in jeweils einer Stufe verschiedener Grundverbesserungsvorgänge verwendet wurden. Die Technologie der vorliegenden Erfindung ist zunächst durch ein Mittel zum Verbessern der Festigkeit von weichem, organisches Material enthaltendem Boden (im folgenden im Detail beschrieben) und weiterhin durch ein Verfahren zum Anwenden dieses Mittels gekennzeichnet, wodurch die vier oben erwähnten Prinzipien leicht im gleichen kontinuierlichen Verfahren angewendet werden können.

Fig. 1 illustriert schematisch die Grundsätze des Verfahrens. Eine bekannte spezifische Imprägniervorrichtung wird dazu verwendet, um ein Verdrängungsmittel (12) von vorgewählten Einspritzpunkten (11) aus in den weichen organischen Boden (13), der verbessert werden soll, einzuspritzen, und die Regulierung dieses Vorganges erfolgt derart, daß die erforderliche Erhöhung der Bodenfestigkeit durch die kombinierten Wirkungen von Kompaktierung, Dehydratisierung und Drainage bei jedem Einspritzvorgang erzielt wird, wobei das Endergebnis darin besteht, daß der Teil des Bodens, wo ein Verdrängen durch das eingespritzte Mittel bewirkt worden ist, eine halbverfestigte Ersatzstruktur bildet.

Das Ziel ist es, eine Erhöhung der Bodenfestigkeit als Folge der fortschreitenden Dehydratisierung und Kompaktierung zu bewirken. Durch dieses Verfahren soll nicht das Wasser in den Zwischenräumen zwischen Erdteilchen durch das eingespritzte Material ersetzt werden, sondern das Wasser soll durch Kompaktierung ausgequetscht werden. Gemäß dem hier angewandten Prinzip bleibt der einmal durch Kompaktierung auf diese Weise verfestigte weiche Boden in diesem Zustand; d. h. der Verfestigungsmechanismus ist irreversibel. Der Boden kann nicht in seinen früheren schwachen oder weichen Zustand zurückkehren, wenn nicht besonders

extreme äußere Einwirkungen auftreten. Demzufolge kann dem Boden die Festigkeit, die zur Gewährleistung dessen Stabilität notwendig ist, erteilt werden.

Wenn konventionelle Methoden zum Bearbeiten von Stellen einer vorher festgelegten Fläche zum Zweck der Verbesserung und Verfestigung des Bodens ausschließlich innerhalb der festgelegten Zone angewandt werden, treten als Ergebnis der Anwendung der bekannten Imprägnierungssysteme mit Materialien auf Zementbasis größere Schwierigkeiten auf. Es werden nun durch das erfindungsgemäße Mittel bestimmte Verbesserungen erzielt, die diese Schwierigkeiten, welchen man im bekannten Stand der Technik begegnet, eliminieren.

Beim Einspritzen eines fluiden Mittels in den Boden zum Verfestigen einer festgelegten Zone gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, eine Erhöhung des Reibungswiderstandes gegen die Strömung der Flüssigkeit an den Grenzen der zu verfestigenden Zone zu schaffen, so daß die fluidisierte Masse, die aus der eingespritzten Flüssigkeit resultiert, darin enthalten bleibt und der durch das flüssige eingespritzte Mittel behandelte Bereich innerhalb der Zone, die verfestigt werden soll, lokalisiert wird.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, eine Flüssigkeit von geringer Dichte einzuspritzen, wiederum den damit behandelten Bereich zu lokalisieren und ihn innerhalb einer flachen Schicht (H) zu begrenzen, wie durch das in Fig. 1 gezeigte Beispiel erläutert. Ein Vergleich dieser beiden Möglichkeiten zeigt, daß die erste für eine relativ dünne Schicht von weichem organischen Boden wirksam ist, insbesondere wenn eine schwache Schicht in ihrer Gesamtheit behandelt werden soll, während die zweite Möglichkeit dann geeignet ist, wenn eine tiefe Schicht (H') von weichem organischen Boden vorliegt und nur bis zu einer begrenzten Tiefe behandelt werden soll.

Durch Verwendung einer geeigneten Imprägniervorrichtung zum Wiederholen der Vorgänge des Einspritzens, der dementsprechenden Dehydratisierung, der Kompaktierung, der Dränage, der Verdrängung und der Verfestigung oder des Härtens, wobei der Einspritzvorgang gemäß dem speziellen, in jedem Fall zu erreichenden Ziel reguliert wird, wird die schwache Schicht durch das eingespritzte Material fortschreitend verstärkt, wie in Fig. 1 aus der Folge der ausgezogenen, strichlierten und punktierten Linien ersichtlich ist. Die voranschreitenden Grenzen der fluidisierten Masse, die bei jedem aufeinanderfolgenden Einspritzvorgang gebildet werden, wirken mit anderen derartigen, während anderer Einspritzvorgänge gebildeten Grenzen zusammen, komprimieren die schwache Schicht und quetschen dadurch das Porenwasser aus, wenn der behandelte Bereich mit den aufeinanderfolgenden Einspritzungen des verwendeten speziellen flüssigen Mittel wächst. Somit arbeiten in situ-Belastungseffekte und eine in situ-Dränagewirkung konstant am Grenzflächensystem zwischen der fluidisierten Masse und dem Rest der zu verstärkenden Bodenschicht und das Porenwasser wird aus dem behandelten Boden ausgedrückt und zum Wegfließen veranlaßt. Als Folge tritt eine abrupte Zunahme des Kompaktierungsausmaßes der schwachen Schicht an der Grenzflächenzone und eine gleichzeitige und proportionale Erhöhung der Bodenfestigkeit auf. Die geeignete Regulierung und Führung des Vorganges in bezug auf das genaue verwendete Mittel, den Anteil des eingespritzten Materials und die Einspritzzeit hängen von der speziellen Art der zu behandelnden Stelle ab.

Ein Material, das bei der ersten der obigen Möglichkeiten zur Einspritzung verwendet wurde, enthält Sand oder sandige Erde von mittlerer bis feiner Teilchengröße. Jedoch soll für die zweite Möglichkeit das Mittel ein Material mit einer niedrigen spezifischen Masse enthalten, wie Ascherückstand von Industrieabfällen, die in einer Verbrennungsanlage verbrannt wurden, pulverförmige Kunststoffabfälle, pulverförmige Holzabfälle, Vulkanasche, Kohlenasche aus Wärmekraftwerken und Getreidehülsen oder andere landwirtschaftliche Abfälle in Pulverform. Die Kombination der Materialien, die im erfindungsgemäßen Verfestigungseinspritzmittel verwendet wird, ist ein bewußtes Abweichen vom Stand der Technik, wie er z. B. in der FR-PS 2 530 652 gezeigt ist, und die verwendeten Verhältnisse wurden auf Grund wiederholter Versuche festgelegt. Das Mittel ist aus Zement, Bentonit, Wasser und einer Substanz A in den Verhältnissen 1,0 : 0,1 bis 2,0 : 1,0 bis 3,5 : 0,5 bis 2,0 zusammengesetzt. Die Substanz A ist ein natürlich vorkommendes Material oder ein Abfallmaterial mit einer niedrigen spezifischen Masse, oder es kann ein anderes leicht verfügbares, natürlich vorkommendes Material oder Abfallmaterial mit einer ähnlichen spezifischen Masse sein. Da die Wahl der Substanz A von den Bedingungen des organischen Bodens abhängig ist, wird das gewählte Material von Ort zu Ort variieren.

Der Einsatz von Bentonit als Teil des Mittels dient mehreren Zwecken. Bentonit homogenisiert jeden der Bestandteile und bildet eine stabile kolloidale Suspension. Es verleiht der Imprägnierungsflüssigkeit die erforderliche Fluidität. Das Mischen von Bentonit zuerst mit Wasser und dem Abfallmaterial und dann schließlich das Zugabe von Zement hierzu verleiht der erhaltenen Einspritzflüssigkeit eine Expansionscharakteristik, die die Änderungsgeschwindigkeit des Volumens zur Zeit der Verfestigung bestimmt. Weiterhin dient Bentonit auch dazu, die Komponenten innerhalb der fluidisierten Masse einzuschließen, wodurch verhindert wird, daß Spuren von möglicherweise schädlichen Substanzen, die im Industrieabfall enthalten sind, im Grundwasser gelöst und diffundiert werden. So wirkt Bentonit als eine Art Bindemittel zum Zweck der Imprägnierung und gewährleistet, daß keine Umweltverschmutzung das Einspritzen in den Boden von Gebieten begleitet, wo bestimmte chemische Mittel ein Problem darstellen könnten.

Das Verfahren ermöglicht die Beachtung der vier Prinzipien der Bodenverbesserung in einem einzigen Verfahren, wodurch eine raschere und ökonomischere Methode zur Bodenverstärkung geschaffen wird. Dabei werden die Schritte der Verdrängung und der Verfestigung in gewissem Sinne in dieser Reihenfolge durchgeführt, um Dehydratisierung und Kompaktierung zu erzielen, die die Hauptfaktoren bei der Erzielung der gewünschten Bodenverbesserung darstellen.

Das eingespritzte Mittel soll aus leicht verfügbaren Materialien bestehen, die so billig wie möglich sind. Ein Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß man in erster Linie Materialien, die durch Ausnützung von Industrie- und Landwirtschaftsabfällen erhalten werden, wählen kann.

Wie oben erwähnt, ist eines der Hauptprobleme das bei den laufend verwendeten Imprägnierungsmethoden auftritt, das schlechte Härten von Zementmaterialien im organischen Boden. Diesbezüglich braucht der erfindungsgemäß verwendete Zement im Bodenersatzkörper, der sich im Boden nach dem Einspritzen bildet, nur eine relativ niedrige Festigkeit vorsehen, da es Ziel des Verfahrens ist, weitgehend einen Verfestigungseffekt durch Ausquetschen des Bodenwassers und Kompaktierung zu erreichen. Das Verfahren wurde nicht entwickelt, um der verfestigten Fläche einen hohen Härtegrad zu erteilen. Es reicht aus, wenn die Festigkeit des Zements der Bodenfestigkeit entspricht, wie auf Basis des endgültig erreichten Kompaktierungsgrades beurteilt wird.

Durch das Verfahren werden die Fluidisierungserscheinungen, die man als Folge des Auftretens von Bodenerschütterungen oder -vibrationen erwarten muß, verhindert und dadurch Unglücksfälle vermieden, die infolge des Zusammenbruches des Bodens entstehen können. Weiters soll vermieden werden, daß Spuren an schädlichen Substanzen, die in einem Einspritzmaterial enthalten sein können, welches Industrieabfälle beinhaltet, das Grundwasser verschmutzen. Dies erfolgt dadurch, daß das eingespritzte Material bis zu einem gewissen Verfestigungs- und Härtegrad gebracht wird, so daß die schädlichen Substanzen sich nicht weiter ausbreiten können. Verschiedene Versuche wurden durchgeführt, um diese Ziele zu erreichen, und das Ergebnis ist das erfindungsgemäße Mittel. Demgemäß besteht ein weiterer Vorteil des Verfahrens in einem höheren Ausmaß an Verlässlichkeit und Sicherheit.

Fig. 2 zeigt das Grundprinzip der Bodenverbesserung gemäß einem konventionellen Verfahren, welches auf dem vibrierenden Einspritzen eines Einspritzmaterials auf Zementbasis allein beruht, um eine tiefe Pfahlstruktur (14) zu schaffen. Da mit dieser Methode keine Bodenverbesserung innerhalb der weichen oberen Schicht (13) möglich und demgemäß keine strukturelle Unterstützung aus dieser Schicht verfügbar ist, besteht der Endeffekt darin, daß ein Gebäude, das auf einer Reihe von relativ schmalen, unverstärkten in Abstand befindlichen Pfählen (15) steht, und das Vorhandensein des unteren verzweigten Systems (16) nichts Wesentliches zur Bodenfestigkeit beiträgt.

Im Gegensatz dazu schafft bei der Verwendung des erfindungsgemäßen Verfestigungseinspritzmittels (12) nicht nur dieses selbst ein dünnes sich ausbreitendes verfestigtes System (10), sondern es wird auch die umgebende weiche Bodenschicht (13) kompaktiert, um im wesentlichen eine Boden"platte" für Bauzwecke zu schaffen. Es ist klar, daß sogar dann, wenn das System (14, 15) in Fig. 2 bis zu einem hohen Ausmaß härtet und sich weiter als bis zur vollen Tiefe (H') der weichen Bodenschicht erstreckt, nicht die Stabilität gemäß Fig. 1 erzielt wird, während das System (10) der Fig. 1 nur bis zu einem geringen Ausmaß härtet und sich nur bis zu der seichten Tiefe (H) erstreckt, ist jedoch die strukturelle Stabilität, die gemäß Fig. 1 erzielt wird, wesentlich größer, weil sich das System in eine geringe Tiefe ausbreitet und die obere Schicht des Bodens kompaktiert wird, die in erster Linie den mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt ist.

Die vorliegende Erfindung wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung durchgeführt, die in der US-PS 4 309 129, der CA-PS 1 096 646 und der GB-PS 1 601 308 beschrieben sind.

Das Arbeitsprinzip der Konstruktionsmethode wird an Hand der Fig. 3 und 4 erläutert.

Das erfindungsgemäße Verfestigungseinspritzmittel wird durch eine Pumpe (1) und eine Leitung (2) aus einem an der Bodenfläche befestigten Behälter eingespritzt. Es ist ersichtlich, daß der Einspritzdruck P (kg/cm²) durch die Formel

$$P = (A \times M) + D$$

ausgedrückt werden kann, worin A die Dichte des Verfestigungseinspritzmittels in kg/cm³, M die Höhe der Flüssigkeitssäule in cm und D der Entladedruck der Pumpe in kg/cm² ist.

Unter der Annahme, daß der Boden die Festigkeit Q (t/m²) besitzt, kann der Boden zerstört werden, um das Einspritzen des Mittels zu ermöglichen, wenn P > Q ist. Der Gleichgewichtszustand P = Q ist erreicht, wenn der Boden ausreichend verstärkt ist und das eingespritzte Mittel beginnt, sich zum Behälter zu gegen den Pumpdruck zurückzuziehen. Wenn ein derartiger Zustand erreicht ist, kann der Pumpvorgang sicher abgebrochen werden, da ein derartiger Zustand gewöhnlich ein Zeichen dafür ist, daß der Boden zufriedenstellend verfestigt ist. In Fig. 4a wurde damit begonnen, das Einspritzmittel über eine Leitung (2) in den Boden zu pumpen (P > Q). Fig. 4b zeigt den Gleichgewichtszustand P = Q und Fig. 4c zeigt den Zustand P < Q. In den Fig. 4a bis 4c bezeichnet (R) eine verzweigt Wandstruktur, die bei Härten des eingespritzten Mittels gebildet wird.

Wenn der Einspritzdruck des Mittels am Anfang auf einen Wert von mehr als die örtliche Bodenfestigkeit eingestellt ist, kann die Beziehung P > Q aufrechterhalten und das Einspritzen aufeinanderfolgend bewerkstelligt werden.

Es wurden Versuche mit der oberwähnten Vorrichtung bzw. dem oberwähnten Verfahren durchgeführt, deren Ergebnisse in der folgenden Tabelle zusammengefaßt sind:

TABELLE

	Mittel (Masseverhältnis)	Festigkeit des zu verbessernden Bodens	Endfestigkeit	Festigkeit des verbesserten Bodens
Versuch 1	Zement : Sand : Bentonit : Wasser 1 : 5,8 : 0,1 : 1,9 1 : 5,7 : 0,2 : 1,8	$q = 0,7 \sim 1,0 \text{ (t/m}^2\text{)}$	$qc' \geq 1,6 \text{ (t/m}^2\text{)}$	$q' = 1,6 \sim 2,0 \text{ (t/m}^2\text{)}$
Versuch 2	Zement : Bentonit : Wasser : pulverförmige Getreidehülsen 1 : 0,1 : 1,4 : 0,5 1 : 0,2 : 1,3 : 0,5	$q = 0,5 \sim 0,8 \text{ (t/m}^2\text{)}$	$qc' \geq 1,2 \text{ (t/m}^2\text{)}$	$q' = 1,2 \sim 1,7 \text{ (t/m}^2\text{)}$

In dieser Tabelle bedeuten:

q = Festigkeit des Bodens vor dem Einspritzen

qc' = durch das Einspritzen zu erzielende Festigkeit des Bodens

q' = Festigkeit des Bodens nach dem Einspritzen

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfestigungseinspritzmittel zum Verbessern der strukturellen Festigkeit von weichem, organisches Material enthaltendem Boden, das in oberflächennaher Schicht mit Breitenwirkung vordringt, **dadurch gekennzeichnet**, daß es Zement, Bentonit, Wasser und eine Substanz A in den Verhältnissen 1,0 : 0,1 bis 2,0 : 1,0 bis 3,5 : 0,5 bis 2,0 aufweist, wobei die Substanz A aus Vulkanasche, pulverförmigen Holzabfällen, pulverförmigen Kunststoffabfällen, Kohlenasche von Wärmekraftwerken, Getreideschalen oder dgl. landwirtschaftlichen Abfällen in Pulverform, Asche von Verbrennungsanlagen und/oder anderen leicht verfügbaren, fein zerteilten natürlichen oder Abfallmaterialien mit einer ähnlichen niedrigen spezifischen Masse oder Sand besteht, wobei für den Fall, daß die Substanz A aus Sand besteht, das Verhältnis von Zement, Sand, Bentonit und Wasser 1,0 : 2,0 bis 8,0 : 0,1 bis 1,5 : 0,5 bis 3,0 beträgt.

2. Verfahren zur Verbesserung der strukturellen Festigkeit von weichem, organisches Material enthaltendem Boden unter Verwendung eines Mittels nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest ein Teil des Bodens ersetzt wird, indem das Mittel an vorbestimmten Stellen zur Verfestigung eingespritzt wird, wobei sich das Mittel nach dem Einspritzen in situ selbst verfestigt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, welches in einer weichen Bodenschicht mit erheblicher Tiefe durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß im wesentlichen nur ein oberer, relativ seichter Teil des weichen Bodens behandelt wird.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

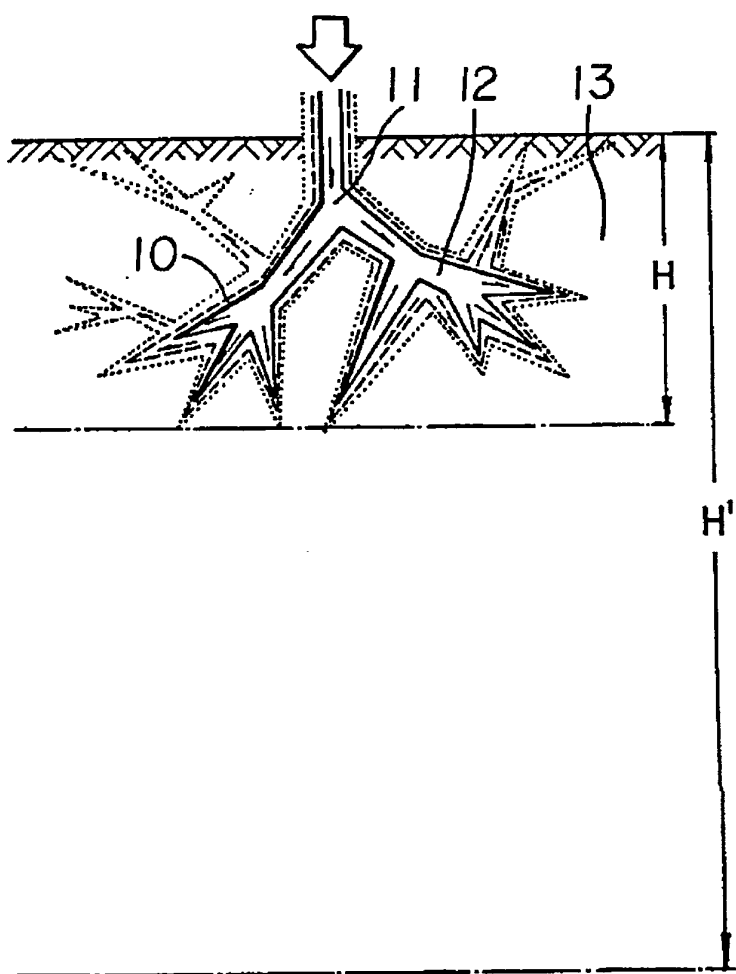


FIG. 2

