

GEOCELDA CON RESISTENCIA A LA COMPACTACIÓN Y LA DEFORMACIÓN MEJORADA

REFERENCIA CRUZADA A LAS SOLICITUDES RELACIONADAS

[0001] Esta solicitud reivindica prioridad a la solicitud provisional de patente de los Estados Unidos número de serie 61/939,198, presentada el 12 de febrero de 2014. Esta solicitud se incorpora plenamente por referencia a la presente.

ANTECEDENTES

[0002] La presente divulgación se refiere a geoceldas que tienen compactación y resistencia a la deformación mejoradas.

[0003] En la ingeniería de transporte se reconocen varias capas en la construcción de un pavimento. Estas capas incluyen la capa de asiento, la capa sub-base, la capa de base y el adoquinado o la capa de superficie. La capa de asiento es el material original y actúa como el fundamento para el pavimento. Habitualmente el suelo y el material suelto sobre la superficie de la tierra se retira excavando o de alguna otra manera con el fin de exponer la capa de asiento. La capa debajo de la base se coloca sobre la capa de asiento y actúa como una capa de soporte de carga. La capa sub-base distribuye la carga de manera uniforme sobre la capa de asiento y también puede usarse para formar una superficie de nivel. La capa de base se coloca sobre la capa por debajo de la base y se utiliza para sostener la carga. Dependiendo del uso deseado del pavimento puede colocarse otra capa sobre la capa de base y esta capa puede conocerse como capa de base de adoquinado. El adoquinado o capa de superficie se coloca luego encima de esta y es la capa expuesta sobre la superficie del pavimento. La capa de superficie puede ser, por ejemplo, asfalto (por ejemplo una carretera o un parqueadero o zona de estacionamiento) o concreto (por ejemplo, un andén).

[0004] Las carreteras adoquinadas y las vías férreas son muy sensibles a las deformaciones plásticas en su base y/o sub-base. Tensiones de 1-3 por ciento en estas dos capas pueden causar agrietamiento en una capa de superficie de asfalto (carreteras), y pueden causar distorsión de rieles (vías férreas).

[0005] Por muchos años han sido utilizadas geoceldas en control de erosión y estabilización de suelo en pendientes. La geocelda actúa como un “contenedor” para relleno atrasando su erosión pero no incrementando su módulo elástico. Algunas veces se usan geoceldas para padecimientos temporales, casi siempre con arena pero la vida útil de diseño de tales pavimentos temporales está limitada a unos pocos meses a lo sumo.

[0006] Los pavimentos perdurables, tales como vías férreas, carreteras con superficie de concreto o de agregado de asfalto, habitualmente fallan debido al rendimiento de la capa de superficie que conduce al agrietamiento y a la formación de surcos. Una causa principal del rompimiento de la capa superficial es una mala resistencia, poca rigidez y/o mala estabilidad a largo plazo de la base y/o de la sub-base. Esto causa deformación en el fondo de la capa superficial.

[0007] Normalmente, los fallos en la capa superficial comienzan en deformaciones en el intervalo de 2-4%, ya sea en la base o en la sub-base. Las geoceldas del estado de la técnica han sido utilizadas para estabilizar la base o la sub-base, pero han fallado para cumplir este requisito incluso en situaciones de bajo tráfico.

[0008] Existe una necesidad de geoceldas que sean capaces de suministrar suficiente confinamiento para el relleno durante la instalación y, más tarde, durante el servicio, mientras que limite las deformaciones plásticas (no recuperables, no elásticas) a nivel de garantía de las capas de superficie a base de concreto o de asfalto o de las vías férreas. Tales geoceldas necesitan ser capaces de desarrollar suficiente firmeza para el relleno durante la instalación y para retener su estabilidad dimensional para muchos pasos de vehículos.

DESCRIPCIÓN BREVE

[0009] La presente divulgación se refiere a geoceldas que son adecuadas para reforzar y confinar relleno para bases de carretera o bases de vía férrea. Hablando en términos generales, una geocelda experimenta alta carga transitoria durante la instalación cuando la geocelda se llena con material de relleno y se somete a

compactación. Una geocelda también experimenta cargas repetidas constantes durante el servicio cuando los vehículos aplican carga sobre la misma. Las geoceldas de la presente divulgación resisten de formación durante la instalación y/o durante el servicio. Esto puede ensayarse apropiadamente tal como se describe en la presente.

[0010] Generalmente las geoceldas de la presente divulgación tienen una deformación de máximo 3.5% durante la instalación. Al inspeccionarse visualmente no son visibles concentraciones de tensión local ni evidencia de rompimiento plástico.

[0011] Generalmente las geoceldas de la presente divulgación tienen una deformación de máximo 3% durante servicio. Nuevamente, al inspeccionarse visualmente no son visibles concentraciones de tensión local ni evidencia de rompimiento plástico.

[0012] Estos y otros aspectos no limitantes de la divulgación se describen con mayor detalle más adelante.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0013] La siguiente es una descripción breve de los dibujos que se presentan para propósitos de ilustración de las modalidades ejemplares divulgadas en la presente y no para propósitos de limitar las mismas.

[0014] **FIG. 1** es una vista en perspectiva de una geocelda de la presente divulgación en su estado expandido.

[0015] **FIG. 2** es una vista en perspectiva con acercamiento de una tira polimérica de la presente divulgación utilizada para hacer la geocelda perforada.

[0016] **FIG. 3** es una imagen de una cámara de ensayo que contienen dos tiras cortadas de una pared celular de geocelda, instalada y sujeta con abrazaderas.

[0017] **FIG. 4** es una imagen que muestra tres tiras después de carga para ensayar deformación durante la instalación; las tiras de la izquierda (marrón) y del centro

(negra) son del estado de la técnica y la tira de la derecha (gris) es de la presente divulgación.

[0018] FIG. 5 es una imagen que muestra dos tiras después de cargar en la mitad del ensayo de formación durante servicio y la tira de la derecha (negra) es del estado de la técnica y la tira de la izquierda (gris) es de la presente divulgación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0019] Una comprensión más completa de los componentes, procesos y aparatos divulgados en la presente puede obtenerse por referencia a los dibujos acompañantes. Estas figuras son solamente representaciones esquemáticas basadas en la conveniencia y la facilidad de demostrar la presente divulgación y, por lo tanto, no pretenden indicar tamaños y dimensiones relativas de los dispositivos componentes de la misma y/o definir o limitar el alcance de las modalidades ejemplares.

[0020] Aunque se usan términos específicos en la siguiente descripción por bien de la claridad, se pretende que estos términos se refieran solamente a la estructura particular de las modalidades seleccionadas para ilustración en los dibujos y no se pretende que definan o limiten el alcance de la divulgación. En los dibujos y en la siguiente descripción más adelante ha de entenderse que las designaciones numéricas similares se refieren a componentes de función similar.

[0021] Las formas singulares “uno”, “una”, “el” y “la” incluyen referentes en plural a menos que el contexto indique claramente algo diferente.

[0022] Debe entenderse que los valores numéricos en las especificaciones y reivindicaciones de esta solicitud incluyen valores numéricos que son iguales al reducirse al mismo número de dígitos significativos y valores numéricos que difieren del valor enunciado en menos del error experimental de la técnica de medición convencional del tipo descrito en la presente solicitud para determinar el valor.

[0023] Todos los intervalos divulgados en la presente incluyen los puntos extremos indicados y pueden combinarse de manera independiente (por ejemplo, el intervalo de

“desde 2 mm a 10 mm” incluyen los puntos extremos, 2 mm y 10 mm, y todos los valores intermedios).

[0024] Un valor modificado por un término o términos tales como “aproximadamente” y “sustancialmente”, pueden no limitarse al valor preciso especificado. Debe considerarse que el modificador (aproximadamente) también divulga el intervalo definido por los valores absolutos de los dos puntos extremos. Por ejemplo, la expresión “desde aproximadamente 2 hasta aproximadamente 4” también divulga el intervalo “desde 2 hasta 4”. El término “aproximadamente” puede referirse a más o menos 10% del número indicado.

[0025] Las geoceldas (también conocidas como sistemas de confinamiento celular (CCS)) son un producto geosintético tridimensional que son útiles en muchas aplicaciones geotécnicas tales como prevención de erosión de suelo, revestimiento de canales, construcción de paredes retenedoras de suelo reforzado y soporte de pavimentos. Un CCS es una disposición de celdas de contención que se asemejan a una estructura de “panal” que se llena con material de relleno, que puede ser suelo no cohesionado, arena, loam, desecho de cantera, gravilla, grava o cualquier otro tipo de agregado. Los CCSs se usan en aplicaciones de ingeniería civil para prevenir erosión o proporcionar soporte lateral tales como paredes retenedoras para suelo, alternativas para paredes de bolsa de arena o paredes de gravedad, y para fundamentos de carreteras, pavimentos y vías férreas. Para contraste, las georedes son generalmente planas (es decir, bidimensionales) y se utilizan como refuerzo plano mientras que los CCSs son estructuras tridimensionales con vectores de fuerza interna que actúan dentro de cada celda contra toda las paredes. Una geocelda y una geored también pueden distinguirse por su altura vertical. Una geocelda tiene una altura vertical de al menos 20 mm mientras que una geored tiene una altura vertical de aproximadamente 0.5 mm a 2 mm.

[0026] **FIG. 1** es una vista en perspectiva de una geocelda en su estado expandido. La geocelda 10 comprende una pluralidad de tiras poliméricas 14. Las tiras adyacentes se pegan conjuntamente a lo largo de uniones físicas discretas 16. El pegado puede

realizarse mediante pegamento, costura o soldadura pero generalmente se hace soldando. La porción de cada tira entre dos uniones 16 forma una pared de celdas 18 de una celda individual 20. Cada celda 20 tiene paredes de celda hechas de dos tiras poliméricas diferentes. Las tiras 14 se pegan conjuntamente de manera que cuando se expanden se forma un patrón de panal a partir de la pluralidad de tiras. Por ejemplo, la tira externa 22 y la tira interna 24 se pegan conjuntamente en las uniones 16 que se encuentran regularmente espaciadas a lo largo de la longitud de las tiras **22** y **24**. Un par de tiras internas 24 se pegan conjuntamente a lo largo de las uniones 32. Cada unión 32 se encuentra entre dos uniones 16. Como resultado, cuando se estira o se expande la pluralidad de tiras 14 en una dirección perpendicular a las caras de las tiras, las tiras se doblan de una manera sinusoidal para formar la geocelda 10. En el borde de la geocelda, donde se encuentran los extremos de dos tiras poliméricas **22**, **24**, se hace una soldadura de extremo 26 (también considerada una unión) a corta distancia del extremo 28 para formar una cola corta 30 que estabiliza las dos tiras poliméricas 22, 24. Esta geocelda también puede ser denominada una sección, particularmente cuando se combina con otras geoceldas por encima de una área más grande de la que podría cubrirse prácticamente por una sección individual.

[0027] **FIG. 2** es una vista en perspectiva con acercamiento de una tira polimérica 14 que muestra la longitud 40, altura 42 y anchura 44, con una unión 16 ilustrada para referencia. La longitud 40, la altura 42 y la anchura 44 se miden en la dirección indicada. La longitud se mide cuando la geocelda está en su estado doblado o comprimido. En el estado comprimido, puede considerarse que cada celda 20 no tiene volumen, mientras que el estado expandido generalmente se refiere a cuando la geocelda ha sido expandida a su capacidad máxima posible. En unas modalidades, la altura de la geocelda 43 es de aproximadamente 50 milímetros (mm) a aproximadamente 200 mm. El tamaño de celda de la geocelda (medido como la distancia entre uniones en estado no doblado) puede ser de aproximadamente 200 mm aproximadamente 600 mm.

[0028] Las geoceldas pueden estar hechas de polietileno (PE), polietileno de densidad media (MDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) y/o

mezclas de poliolefinas con una poliamida o un poliéster. El término “HDPE” se refiere de aquí en adelante a polietileno caracterizado por una densidad mayor que 0.940 g/cm³. El término polietileno de densidad media (MDPE) se refiere a polietileno caracterizado por una densidad superior a 0.925 g/cm³ hasta 0.940 g/cm³. El término polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) se refiere a polietileno caracterizado por densidad de 0.91 a 0.925 g/cm³. Las tiras son soltadas conjuntamente de una manera inclinada, en cuyo caso la distancia entre uniones soldadas es de aproximadamente 200 mm a aproximadamente 600 mm.

[0029] El grosor habitual de pared de tira para una geocelda es de 1.27 milímetros (mm), con alguna variación en el intervalo de 1.0 mm a 1.7 mm. Las paredes de celda pueden estar perforadas y/o repujadas.

[0030] Las presentes geoceldas tienen baja de formación durante la instalación. Una geocelda cada puede ensayarse para de formación durante la instalación utilizando el siguiente procedimiento. Primero se obtiene una tira de celda de la geocelda. Esta tira de celda es esencialmente una pared de celda que, en referencia a la **FIG. 1**, se extiende desde la unión 16 hasta la unión 16 (no la unión 32). La longitud de esta tira de celda es la distancia entre las uniones y la anchura de esta tira de celda es igual a la altura de celda (dirección 42 en la **FIG. 2**). La tira de celda es sujeta mediante abrazaderas entre una abrazadera superior y una abrazadera inferior, en cuyo caso las lanzaderas están colocadas a lo largo de las uniones de modo que la longitud de la tira de celda se extiende entre las abrazaderas. La abrazadera superior es estática y está adherida a marco. En contraste, la abrazadera inferior está libre y es capaz de oscilar. Puede aplicarse una carga a la abrazadera inferior y durante el ensayo se utiliza para deformar la tira. Luego se aplica una carga de 6.1 kN/metro a la abrazadera inferior, perpendicular a las uniones de la tira de celda. Esta carga se aplica a temperatura ambiente (23°C ± 3°) durante 90 minutos para simular de formación durante la instalación (denominada esfuerzo de instalación). Después de completar los 90 minutos se mide la deformación total. El porcentaje de deformación se obtiene dividiendo la deformación total por la longitud original de la tira de celda. Las geoceldas de la presente divulgación tienen un esfuerzo de instalación de máximo 3.5%. En una

modalidad específica cuando se requiere estabilidad mejorada, el esfuerzo de instalaciones de máximo 3%. La tira de celda también debe estar libre de evidencia de rompimiento plástico local (al inspeccionarse visualmente).

[0031] A este respecto, la carga de 6.1 KN/m se calcula a partir de tensiones en el diseño típico de base durante la fase de compactación (cuando el material de relleno se está añadiendo y compactando en la geocelda). El período de tiempo de 90 minutos simula el período típico suficiente para lograr una interacción estable y predecible entre el material de relleno y la geocelda (compactación más confinamiento).

[0032] Habitualmente se requiere un poco de deformación para asegurar confinamiento suficiente del material de relleno. Sin embargo, una deformación superior a aproximadamente 3.5% durante la instalación causa dos fenómenos indeseables: (a) rompimiento plástico irreversible en la geocelda en áreas perforadas, lo que hace que dichas áreas sean sensibles a agrietamiento prematuro durante el servicio; y (b) confinamiento insuficiente de material de relleno que conduce a una mala firmeza de base o de sub-base, mala capacidad para resistir cargas repetidas y flujo no deseado de material de relleno hacia abajo y horizontalmente. Las geoceldas del estado de la técnica se deforman de manera significativamente superior durante la etapa de instalación, típicamente 6% o más. Además, las áreas de alta perforación en las geoceldas del estado de la técnica, caracterizadas por rompimiento plástico severo, pueden fallar más tarde de manera catastrófica durante el servicio. A este respecto, se hace notar que se ensaya una tira de celda y para propósitos de conveniencia el desempeño de la tira de celda se atribuye también a la geocelda.

[0033] **FIG. 3** es una imagen de una cámara que contiene dos tiras de celda recortadas de una geocelda, instaladas afectadas con abrazaderas. Se aplica una carga a brazo que se extiende hacia abajo desde la abrazadera inferior. Se monta un deflectómetro exacto al marco de la cámara con su punta de medición tocando una placa que se extiende desde la carga. La deformación puede leerse sobre la galga del deflectómetro, a períodos de tiempo específicos, durante el ensayo de deformación bajo carga.

[0034] **FIG. 4** es una imagen de tres tiras de celda diferentes que han sido ensayadas para deformación durante la instalación. La tira izquierda y la tira central son tiras del estado de la técnica. La tira izquierda tiene un espesor de 1.5 mm y está hecha de HDPE. La tira central tiene un espesor de 1.6 mm y también está hecha de HDPE. La deformación es visualmente evidente y las perforaciones han sido deformadas y manera irreversible. También se observan marcas claras de rompimiento y perforaciones cercanas al flujo frío. Estas dos tiras de celda han experimentado rompimiento plástico y no se recomiendan para servicio de largo plazo en bases o sub-bases. Esto se debe al hecho de que se sabe que los polímeros se someten a agrietamiento (fallo catastrófico impredecible bajo carga) después de rompimiento plástico. Este tipo de deformación, dentro de solamente 90 minutos, es inaceptable y estas geoceldas del estado de la técnica no son adecuadas para refuerzo de base.

[0035] La tira que está más a la derecha es una tira de celda de acuerdo con la presente divulgación y tiene un espesor de 1.4 mm. La geocelda está hecha de una mezcla de poca deformación de HDPE y una poliamida y el patrón de perforación se optimiza para evitar rompimiento plástico local. La deformación es mucho más baja, las perforaciones están sin modificar y la tira no ha experimentado rompimiento plástico. Como resultado, esta tira puede ser recomendada para servicio a largo plazo en bases o sub-bases.

[0036] De manera deseable, las geoceldas de la presente divulgación son adecuadas para reforzar y para confinar bases de carreteras, sub-bases de carretera, pisos industriales, pavimentos sobre arcilla expansiva, bases de carrileras, o sub-bases de carrileras sometidas a tráfico pesado y tráfico medio. Tales geoceldas tienen baja deformación durante el servicio. Una geocelda dada puede ensayarse para deformación durante el servicio usando el siguiente procedimiento. Primero se obtiene una tira de celda a partir de la geocelda. Esta tira es esencialmente una pared de celda que, en referencia a la **FIG. 1**, se extiende desde la unión 16 hasta la unión 16 (no la unión 32). La longitud de esta tira es la distancia entre las uniones y la anchura de esta tira es igual a la altura de la celda (dirección 42 en la **FIG. 2**). La tira de celda es sujeta con abrazaderas entre una abrazadera superior y una abrazadera inferior, en

cuyo caso las abrazaderas se colocan a lo largo de las uniones de modo que la longitud de la tira se extienda entre las abrazaderas. La abrazadera superior es estática y está adherida a marco. En contraste, la abrazadera inferior está libre y es capaz de oscilar. La actividad de celda está contenida habitualmente en una cámara que es capaz de calentarse y mantener su temperatura dentro de un intervalo de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (es decir la temperatura del aire en la cámara). Puede aplicarse una carga a la abrazadera inferior y se usa durante el ensayo para deformar la tira de celda. Luego se aplica una carga de 6.1 kN/metro a la abrazadera inferior, perpendicular a las uniones de la tira de celda. Esta carga se aplica a temperatura ambiente ($23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$) durante 90 minutos para permitir la deformación de la tira.

[0037] Después de completar 90 minutos, la cámara se calienta a 44°C . Pasa un período de 15 minutos para permitir que la tira alcance una temperatura homogénea. El deflectómetro se restaura a cero. Luego se aplica la carga de 6.1 kN/metro durante 167 minutos a 44°C . Luego, la deformación de la tira de celda después de 167 minutos a 44°C se mide y se registra. La tira de celda puede inspeccionarse visualmente para evidencia de rompimiento plástico local y concentraciones de tensión local.

[0038] A continuación, la cámara se calienta a 51°C pasa un período de 15 minutos para permitir que la tira de celda alcance una temperatura homogénea. El deflectómetro se reajusta a cero. La carga de 6.1 kN/metro se aplica luego durante 167 minutos a 51°C . Luego se mide la deformación de la tira de celda después de 167 minutos a 51°C y se registra. La tira de celda puede inspeccionarse visualmente para evidencia de rompimiento plástico local y concentraciones de tensión local.

[0039] A continuación la cámara se calienta a 58°C . Pasa un período de 15 minutos para permitir que la tira de celda alcance una temperatura homogénea. El deflectómetro se reajusta a cero. Luego se aplica la carga de 6.1 kN/metro durante 167 minutos a 58°C . Luego se mide la deformación de la tira de celda después de 167 minutos a 58°C y se registra. La tira de celda puede inspeccionarse visualmente para evidencia de rompimiento plástico visual y concentraciones de tensión local.

[0040] El porcentaje de deformación se obtiene luego dividiendo la deformación total por la longitud original de la tira. Tal como se ha descrito antes, la deformación total se obtiene sumando la deformación de la tira de celda a 44 °C, la deformación de la tira de celda a 51 °C y la deformación de la tira de celda a 58 °C. La tensión acumulada se denomina tensión de servicio. Las geoceldas de la presente divulgación tienen una tensión de servicio de máximo 3%. La tira de celda también debe estar libre de evidencia de rompimiento plástico local (al inspeccionarse visualmente). En modalidades específicas cuando se requiere estabilidad mejorada, la tira de celda tiene una tensión de servicio de máximo 2.5%.

[0041] Debe notarse que las temperaturas de 44°C, 51°C, y 58°C se refieren a la temperatura a la cual se calienta la cámara, es decir al aire en la cámara. Generalmente, la tira alcanza equilibrio con la temperatura de cámara dentro de aproximadamente 15 minutos desde el inicio del ciclo.

[0042] Este procedimiento es modificado de ASTM D6992, y se soporta por un método conocido como Stepped Isothermal Method (SIM). La cantidad y duración de etapas se calcula para simular pasos de tráfico típicos a tráfico medio y medio-pesado.

[0043] Tal como se ha descrito antes, la carga no se retira mientras se equilibra a la nueva temperatura más alta.

[0044] También, tal como se ha descrito antes, el deflectómetro se reajusta en la medida en que la cámara se ajusta a la nueva temperatura más alta. En algunas modalidades, el deflector metro no se reajusta y la deformación total es la deformación medida después de calentar a 58 °C.

[0045] **FIG. 5** es una imagen que muestra dos tiras de celda durante la etapa de calentamiento a 44 °C, lo cual representa un tiempo de aproximadamente 10% de la vida de servicio. La tira derecha es una tira del estado de la técnica y tiene deformación plástica severa. En esta etapa la deformación es más de 25%. La tira izquierda es una tira de celda de la presente divulgación y se ha deformado en menos de 0.2%, y no ha exhibido evidencia visual de distorsiones. Este comportamiento fue mantenido hasta el

fin del ensayo y la deformación total para la tira izquierda fue de 1.4% de la distancia original entre abrazaderas. No se vio evidencia visual de distorsiones en la tira izquierda.

[0046] La presente divulgación ha sido descrita con referencia a modalidades ejemplares. Obviamente a otros se les ocurrirán modificaciones y alteraciones después de leer y entender la descripción detallada precedente. Se pretende que la presente divulgación sea interpretada incluyendo todas aquellas modificaciones y alteraciones en cuanto están sujetos al alcance de las reivindicaciones adjuntas o los equivalentes de las mismas.