

MOVIMIENTO DE TIERRAS, DRENAJE Y EXPLANADAS

Martes 21 Octubre 2003 (8:30 - 12:00)

PROGRAMA DE LA SESIÓN E INFORME DE INTRODUCCIÓN

PROGRAMA DE LA SESIÓN

1. Sesión de introducción

Sr. Giorgio PERONI (Presidente del C12/ITALIA)

2. Materiales naturales que no cumplen las especificaciones y pertinencia del control del movimiento de tierras

a) Limitaciones en el uso de terreno natural, especificaciones y controles en los movimientos de tierras

Sr. Hervé HAVARD (miembro del C12/FRANCIA)

b) Consideración de las heladas en la construcción de carreteras

Sr. Edward J. HOPPE (Secretario de habla inglesa del C12/ESTADOS UNIDOS).

c) Control de plataformas y de carreteras locales usando el nuevo método de evaluación de rigidez

Sr. Hervé HAVARD (miembro del C12/FRANCIA)

d) Control de compactación de arenas por el test de penetración poco profundo CPTs

Ir. W.O. MOLENDIJK (GeoDelft/PAISES BAJOS)

e) Autopista A29 – Optimización del movimiento de tierras dentro de una perspectiva de desarrollo sostenible.

Sr. D. DEMEILLIERS (SANEF/FRANCIA)

f) Descripción de mezclas compactas de arena/arcilla: proceso de compactación y clasificación de suelos

Sr. Hervé HAVARD (miembro del C12/FRANCIA)

g) Reutilización de materiales degradables más o menos fragmentables

Sr. Y. GUERPILLON (SCETAUROUTE/FRANCIA)

Debate

3. Terraplenes soportados por columnas

a) Terraplenes soportados por columnas

Sr. Chris DUMAS (miembro del C12/ESTADOS UNIDOS)

b) Mejora de la fiabilidad en las predicciones de asentos en terraplenes de suelos blandos

Ir. W.O. MOLENDIJK (GeoDelft/PAISES BAJOS)

c) Los Materiales ligeros en la construcción de carreteras – Situación actual en Italia

Dr. Giulio DONDI (Universidad of Bologna/ITALIA)

d) Terraplenes de prueba en terrenos blandos utilizando una mezcla in situ de espuma ligera con terreno superficial

Sr. Hiroshi MIKI (miembro del C12/JAPÓN)

e) Un método para la evaluación de asentos máximos de terraplenes debido al ancho de la sección transversal de la carretera.

Dr. Ciro CALIENDO (Universidad de Salerno/ITALIA)

Debate

4. Orientaciones sobre los riesgos de los taludes de carreteras

a) Orientaciones sobre los riesgos de los taludes de carreteras

Sr. David PATTERSON (miembro del C12/REINO UNIDO)

b) Evaluación y gestión del riesgo de derrumbe en las difíciles vías de descongestión – El caso de las carreteras nacionales de la Isla de la Reunión

Sr. Jean-Jacques GUEGUEN
(Ministry of Equipment, Transport, Housing, Tourism and the Sea/FRANCIA)

Sr. Marc CRUCHET
(Ministry of Equipment, Transport, Housing, Tourism and the Sea/FRANCIA)

Debate

5. Aprobación de conclusiones

Sr. Giorgio PERONI (Presidente del C12/ITALIA)

ÍNDICE

Índice.....	4
RESUMEN	5
LISTA DE MIEMBROS QUE HAN CONTRIBUIDO A LA ELABORACIÓN DEL INFORME	7
1. MATERIALES NATURALES QUE NO CUMPLEN LAS ESPECIFICACIONES Y PERTINENCIA DEL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS	8
2. TERRAPLENES SOPORTADOS POR COLUMNAS.....	12
REFERENCIAS.....	13
3. ORIENTACIONES SOBRE LOS RIESGOS DE LOS TALUDES DE CARRETERAS.....	14
REFERENCIAS.....	15
Software:.....	15
CONCLUSIONES PROVISIONALES.....	16
Columnas de grava	16
Columnas de hormigón vibrado.....	16
Columnas de pilotes tradicionales hincados en el suelo y barrenas continuas (CFA: "Continuous Flight Auger")	17
Refuerzos de geosintéticos.....	17

RESUMEN

El Comité de Movimiento de Tierras, Drenaje y Explanadas (C12) de la AIPCR ha abordado los siguientes temas durante el ciclo de trabajo 2000-2003:

1. Materiales naturales que no cumplen las especificaciones y la oportunidad del control de las obras de tierra.
2. Terraplenes soportados por columnas
3. Orientaciones sobre los riesgos de los taludes de carreteras.

Las actividades del Comité se enmarcan en el Tema Estratégico 1 de la AIPCR: Técnicas de la Carretera. El objetivo perseguido consiste en la mejora de la ejecución y conservación de las infraestructuras viarias de acuerdo con las prácticas más adecuadas a nivel internacional.

Se ha comprobado que la reutilización de los suelos naturales en la construcción de terraplenes es una práctica muy extendida en numerosos países. Existen, no obstante, considerables diferencias en las soluciones adoptadas para utilizar los materiales naturales marginales. Algunos países tienen especificaciones muy estrictas para la selección de los materiales, mientras que otros se muestran muy flexibles en la aceptación de éstos. Factores como el clima y la topografía influyen a menudo en que algunos países acepten lo que otros rechazan.

Cuando se evalúa la eficacia del control de los movimientos de tierras, es importante considerar el impacto global en el proyecto y no centrarse en un fallo localizado. El origen de muchos problemas de proyecto y construcción que afectan a las obras de tierra estriba a menudo en la falta de una investigación preliminar exhaustiva del emplazamiento de la obra. Muchas veces, el comportamiento insatisfactorio de un terraplén no se debe a una compactación inadecuada, sino a un drenaje deficiente.

La construcción de terraplenes soportados por columnas no constituye una nueva tecnología. Los terraplenes apoyados en pilotes hace más de 60 años que se utilizan, y la "moderna" tecnología de las columnas de grava se aplicó por primera vez en Europa en los años 60. Sin embargo, los cambios y mejoras de tipo económico, político y tecnológico han hecho que en los últimos cinco años se haya disparado su uso en todo el mundo.

La técnica de soportar mediante columnas permite la construcción de terraplenes de carreteras en lugares que en principio no serían adecuados desde el punto de vista de la capacidad portante, la estabilidad y/o el tiempo necesario para la construcción. Entre los beneficios que se consiguen se encuentra una significativa reducción de la magnitud y el tiempo de asiento (o incluso de su eliminación). Los equipos modernos y el refuerzo de geosintéticos han mejorado de manera espectacular la economía de los terraplenes soportados por columnas.

El C12 ha decidido examinar varias tecnologías de columnas portantes y hacer un resumen del estado actual de la técnica en este campo. Las técnicas incluidas en el estudio comprenden las columnas de grava, las columnas de hormigón vibrado, la estabilización combinada con columnas verticales y los refuerzos de geosintéticos.

Dado que los elementos geotécnicos son en la mayoría de los casos materiales naturales, tienen un comportamiento más variable y una mayor sensibilidad al deterioro a largo plazo. Las consecuencias de su respuesta pueden influir mucho en los costes del ciclo de vida y en la seguridad pública. Su comportamiento es difícil de prever y todavía no se comprende del todo, pero el objetivo consiste en desarrollar un concepto de "vida residual" que permita una evaluación efectiva y la formulación de estrategias de conservación apropiadas.

El C12 se ha concentrado en los taludes de terraplenes porque los fallos de los mismos se producen con mayor frecuencia y tienen consecuencias más importantes que los de ningún otro elemento geotécnico. Se han analizado estudios de casos de diversos países, y los problemas observados varían desde peligros devastadores con amenazas para las vidas y las economías hasta simples molestias que sólo requieren un mayor esfuerzo de conservación.

La evaluación de los peligros y riesgos de los taludes ha progresado mucho. Los términos y la metodología para la evaluación de riesgos están actualmente bien desarrollados. Se está cuantificando el valor y la contribución de los elementos geotécnicos en su conjunto.

LISTA DE MIEMBROS QUE HAN CONTRIBUIDO A LA ELABORACIÓN DEL INFORME

Autor principal: H. HAVARD (Francia)

Miembros que han contribuido:

J. NOMERANGE (Bélgica)
E. HOPPE (Estados Unidos)
C. AIME (Francia)
M. de VAULX de CHAMPION (Bélgica)
C. BARBOSA (Portugal)
E. DAPENA (España)
D. PATTERSON (Reino Unido)
G. TOPHINKE (Alemania)

Autor principal: C. DUMAS (Estados Unidos)

Miembros que han contribuido:

J. NOMERANGE (Bélgica)
A. PHEAR (Reino Unido)
E. HOPPE (Estados Unidos)

Autor principal: D. PATTERSON (Reino Unido)

Miembros que han contribuido:

J. NOMERANGE (Bélgica)
E. HOPPE (Estados Unidos)
H. HAVARD (Francia)
G. PERONI (Italia)
M. MAHMUD (Malasia),
S. DOROBANTU (Rumanía)
A.PARRIAUX (Suiza)

1. MATERIALES NATURALES QUE NO CUMPLEN LAS ESPECIFICACIONES Y PERTINENCIA DEL CONTROL DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

En el último Congreso Mundial de la AIPCR celebrado en Kuala Lumpur, el Comité C12 consideró el impacto de la protección medioambiental en los movimientos de tierras. Contribuyeron al estudio 17 países, que confirmaron en su mayor parte los exigentes requisitos de protección medioambiental y la necesidad de desarrollar técnicas compatibles con los principios del desarrollo sostenible. Una de las conclusiones provisionales fue que "se pueden realizar grandes progresos en la ingeniería de las obras de tierra mediante una mayor utilización de suelos procedentes de excavaciones en la construcción de terraplenes".

Esta idea se convirtió en un tema de trabajo para el C12 durante el ciclo 2000-2003. El estudio intentaba dar respuesta a dos importantes preguntas:

- ¿Se puede aumentar la proporción de materiales naturales excavados que se utiliza en la construcción de terraplenes (reutilización de los materiales naturales) garantizando al mismo tiempo las características exigidas?
- ¿Qué prácticas de construcción eficaces deben implementarse para asegurar que se cumplen las especificaciones de los materiales y el comportamiento exigido al producto terminado?

El estudio se puso en marcha en febrero de 2000 mediante la distribución de un detallado cuestionario de encuesta entre 38 países. Entre los temas abordados por el cuestionario estaban la clasificación de los materiales y los criterios para su aceptación en relación con la construcción de terraplenes y explanadas. Teniendo en cuenta las conclusiones del artículo publicado en el nº 306 de "Routes/Roads" con el título "Estudio sobre los problemas de los terraplenes en servicio", según las cuales la causa de muchos de los problemas de los terra-plenes en servicio era un sistema de drenaje defectuoso, el C12 incluyó también en su estudio las obras de drenaje. Hay que hacer hincapié en que este estudio se limitó a la reutilización de los materiales naturales marginales; dado que el alcance del estudio ya era muy amplio, no se incluyó la utilización de materiales de desecho o de subproductos.

Contestaron al cuestionario trece países: Alemania, Bélgica, Canadá, Croacia, Cuba, España, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón, Portugal, Reino Unido y Suiza. Los resultados mostraron la existencia de una gran cantidad de métodos, no siempre de fácil comparación entre un país y otro, ya que las prácticas son a menudo complejas y adaptadas a las circunstancias específicas de cada uno. A pesar de ello, fue posible llegar a algunas conclusiones orientadas hacia la mejora de los movimientos de tierras.

Los sistemas de clasificación de suelos utilizados en la actualidad corresponden a uno de los tres tipos siguientes:

Clasificaciones generales, derivadas a menudo de métodos estado-unidenses como USCS y AASHTO, que solían definir los tipos de suelos en relación con su aplicabilidad; esto obligaba a los responsables a determinar las condiciones de reutilización teniendo en cuenta los aspectos específicos del proyecto (en Alemania y Suiza, por ejemplo).

Clasificaciones especializadas, con una matriz de reutilización no necesariamente impuesta por un proyectista. Estas clasificaciones pueden basarse, como las anteriores, en el USCS o AASHTO, pero también en clasificaciones originales diseñadas específicamente para las obras de tierra (en España y Francia, por ejemplo).

Clasificaciones de necesidades (comportamiento) y no de materiales, como en el caso del Reino Unido, donde se definen las especificaciones que deben cumplirse para ser compatibles con determinadas obras. El mismo material puede satisfacer los criterios establecidos para varios tipos de obras. Estas clasificaciones basadas en el comportamiento constituyen, en realidad, especificaciones.

Se ha observado que muchos países utilizan sistemas de clasificación específicos para los movimientos de tierra, distintos de los utilizados en otros campos como la mecánica del suelo.

Las normas de aceptación de suelos para la construcción de terraplenes varían de unos países a otros. La humedad se caracteriza generalmente haciendo referencia al valor óptimo, determinado por el ensayo Proctor (generalmente el Proctor Estándar, pero a veces se especifica el Proctor Modificado). Los valores umbral aceptables varían mucho para los suelos muy húmedos. Muchos países tratan los suelos húmedos con cal para reducir la humedad. Se ha proporcionado muy poca información sobre suelos que están muy lejos de los valores óptimos (demasiado secos para conseguir un relleno estable mediante compactación).

Los suelos demasiado plásticos para colocarlos en un terraplén pueden evaluarse utilizando un sólo valor umbral, por ejemplo: en el Reino Unido, un límite líquido superior a 90 o un índice de plasticidad superior a 65; en Croacia, un límite líquido superior a 65 o un índice de plasticidad superior a 30; en Canadá, Italia y Suiza, más del 50% de finos. Pero también pueden usarse varios umbrales simultáneamente, por ejemplo: en Alemania y Portugal, más del 40% de finos, un límite líquido superior a 50 y en función de la posición en el diagrama Casagrande; en Bélgica, más del 50% de finos y un índice de plasticidad superior a 12; en España, un límite líquido superior a 90 y un índice de plasticidad superior a $0,73 \times LL - 14,6$; en Francia, más del 35% de finos y un índice de plasticidad superior a 40.

La máxima granulometría permitida en los terraplenes varía desde 200 mm en Italia (100 mm para algunos suelos en el Reino Unido) hasta 1.200 mm en los Estados Unidos (sólo en el fondo del terraplén); generalmente se especifica "entre el 50 y el 100% del espesor de tongada.

El máximo contenido orgánico permitido en los suelos para terraplenes varía generalmente entre el 1 y el 10%. Varios países han elaborado directrices técnicas para la reutilización de rocas sometidas a desintegración o disolución, teniendo en cuenta las condiciones específicas locales. Estas directrices se ajustan en general a las características de los materiales que se encuentran in situ basadas en datos experimentales.

Las especificaciones relativas a los suelos aceptables para la parte inferior de los terraplenes y en las explanadas de las carreteras son muy variadas. Muchos países especifican una explanada encima del terraplén. Algunos, como Canadá y el Reino Unido, integran la explanada en la sub-base: la porción inferior forma parte del terraplén y la superior se considera una parte del firme. Algunos países no tienen especificaciones independientes para la parte del terraplén en contacto con la explanada (Alemania, Croacia, Japón y Suiza). Otros tienen especificaciones distintas para la explanada y para la parte superior del terraplén (Canadá, Cuba, España, Francia, Italia, Portugal y Reino Unido). Por otra parte, algunos países no especifican una explanada en la construcción de terraplenes, pero aplican especificaciones independientes para la parte superior de los terraplenes (Bélgica y Estados Unidos).

El espesor de la parte superior del terraplén, a la que se aplican sus propias especificaciones, varía entre los siguientes valores: 30 cm en Canadá; de 40 a 85 cm en Portugal; 100 cm en España, Francia, Japón y Suiza; 130 cm en el Reino Unido; 200 cm en Italia; y 300 cm en los Estados Unidos. En general, las especificaciones relativas a esta capa sólo se refieren al tamaño granulométrico, al contenido de finos y al grado de compactación. Algunos países especifican también la capacidad portante y/o la sensibilidad al agua, normalmente mucho más restrictiva que para los suelos destinados a la parte inferior de los terraplenes.

El espesor de la explanada, cuando se especifica, varía en función de las necesidades de cada proyecto en concreto. Algunos países especifican un espesor fijo, por ejemplo Italia (30 cm), Japón (100 cm) y Suiza (60 cm). Los materiales autorizados suelen incluir suelos no muy sensibles a la humedad, con una granulometría que permita una nivelación fácil (habitualmente, una tolerancia entre ± 2 y ± 3 cm). Salvo en el caso de los materiales tratados con ligantes, el Reino Unido exige en sus especificaciones menos del 15% de partículas inferiores a $63 \mu\text{m}$; Francia, menos del 12% de partículas inferiores a $80 \mu\text{m}$; Portugal, menos del 20% de partículas inferiores a $75 \mu\text{m}$; España e Italia, menos del 35% de partículas inferiores, respectivamente, a $80 \mu\text{m}$ y $75 \mu\text{m}$. Estos porcentajes de finos van asociados con umbrales más o menos restrictivos para la plasticidad de los finos. Por el contrario, en Alemania se especifica el mismo material que en el terraplén, pero se exige un valor mínimo de la capacidad portante de la explanada. Desgraciadamente, este criterio no puede explotarse para comparar las prácticas aplicadas en distintos países, ya que las normas de control y la frecuencia de los ensayos de capacidad portante varían mucho.

Los requisitos para la compactación del material de relleno varían entre el 90 y el 100% del Proctor Estándar, dependiendo de la altura dentro del terraplén. A veces el grado de compactación se establece con referencia al Proctor Modificado. Unos pocos países tienen controles diseñados para verificar las especificaciones directamente (Francia) o mediante correlaciones establecidas in situ (Alemania). En ocasiones, el tiempo de respuesta de los ensayos es demasiado largo para corregir operaciones que no se desarrollan de modo satisfactorio. En el caso de materiales gruesos que no sean compatibles con los ensayos Proctor tradicionales, los métodos de control sobre el terreno no son muy eficaces. Para resolver este problema, algunos países (Alemania y Japón) han desarrollado métodos de control basados en el porcentaje de huecos.

Los requisitos relativos a la compactación de las explanadas suelen estipular el 100% del Proctor Estándar o el 95% del Proctor Modificado, que conducen aproximadamente al mismo resultado. Los ensayos de la capacidad portante son muy variables y la gran cantidad de métodos de control no permite una comparación significativa.

Finalmente, los resultados de la encuesta ponen de manifiesto que pueden realizarse progresos importantes por medio de controles más eficaces relativos a la aceptación de las obras de drenaje. Estas obras exigen a menudo una gran inversión y tienen un considerable impacto en los resultados del proyecto. A la misma conclusión se llega en el artículo antes citado sobre los problemas de los terraplenes en servicio.

2. TERRAPLENES SOPORTADOS POR COLUMNAS

Una red de carreteras eficaz constituye una necesidad económica para la mayoría de los países. Sin embargo, en los últimos años, los usuarios han sufrido a la vez los efectos del envejecimiento y deterioro de las carreteras y de un aumento espectacular del volumen de tráfico. Ensachar las carreteras existentes o aumentar la capacidad de la red mediante la construcción de otras nuevas plantea a menudo importantes problemas. En muchos casos, el terreno disponible no permite un uso comercial que sea económicamente viable; la mayoría de las veces se trata de suelos blandos o contaminados, que precisan un tratamiento de mejora importante para poder soportar un terraplén de carretera.

En los últimos años se está aplicando, cada vez con más éxito, la técnica de soportar los terraplenes mediante columnas, principalmente por razones eco-nómicas. Esta técnica permite construir terraplenes en lugares que de otra forma no podrían soportar cargas importantes. Las ventajas estriban sobre todo en la reducción de los asentos y la presión de la tierra, así como en la posibilidad de construir los terraplenes en una sola fase.

Los terraplenes soportados por columnas se construyen, de manera puntual, desde hace 60 años, pero gracias a recientes avances y mejoras en esta técnica su construcción está aumentando de manera espectacular en todo el mundo. Como consecuencia, el C12 decidió examinar diversas prácticas utilizadas en la actualidad y hacer un resumen del estado actual de la técnica en este campo.

El informe final redactado por el C12 cubre los aspectos siguientes:

- Métodos de proyecto y construcción.
- Estudios de casos.
- Forma de escoger un sistema de columnas portantes para un terraplén.
- Conclusiones generales y recomendaciones.
- Orientaciones para el futuro y necesidades en el campo de la investigación.

Las técnicas estudiadas en el informe incluyen las columnas de grava, las columnas de hormigón vibrado, la estabilización combinada con columnas verticales y los refuerzos de geosintéticos.

REFERENCIAS

1. Elias, V, Welsh, J & Lukas, J. FHWA Demonstration Project: *Ground Improvement Technical Summaries*, Volumes I & II. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2001.
2. Kempfert, H.G., Stadel, M. & Zaeske, D. *Design of Geosynthetic Reinforced Bearing Layers over Piles*. Bautechnik #12, 1997.
3. Russel, D. & Pierpoint, N. *An Assessment of Design Methods for Piled Embankments*. Ground Engineering, pp, 39-44, 1997.
4. Slocombe, B.C., & Bell, A.L. *Discussion-Settling on a Dispute*. Ground Engineering, pp 34-36, 1998.
5. Tonks, D., & Hillier, R. *Discussion-Assessment of Re-visited ***. Ground Engineering, pp 46-50, 1998.
6. Alexiew, D. FHWA-Bast Presentation: *Reinforced Embankments on Piles or Columns*, 2002.
7. Hillmann, R. FHWA-Bast Presentation: *Project Study on Accelerated Construction with Regard to Bundesautobahn A26*, 2002.
8. Li, Y., Aubeny, C. & Briaud, J.L. Draft FHWA Report: *Geosynthetic Reinforced Pile Supported Embankments*, 2002.
9. British Standard 8006, Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills, Incorporating Amendment No. 1, 1995.
10. Rogbeck, Y., Gustavsson, S., Sodergren, I., Lindquist, D. *Reinforced Piled Embankments in Sweden – Design Aspects*. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, 1998
11. Jenner, C.G., Austin, R.A. & Buckland, D. *Embankment Support over Piles Using Geogrids*. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, 1998.

3. ORIENTACIONES SOBRE LOS RIESGOS DE LOS TALUDES DE CARRETERAS

El objetivo de este estudio consistía en preparar recomendaciones para la evaluación de los riesgos relacionados con los taludes en la construcción de carreteras. Esta evaluación podría facilitarse definiendo un marco de evaluación de los riesgos y utilizándolo para analizar y presentar ejemplos de las prácticas más adecuadas y de las menos recomendables.

Entre los informes precedentes de la AIPCR que han servido de base para este estudio pueden citarse los siguientes:

- Erosión del suelo durante la construcción y después de ella (Marrakech, 1991).
- Deslizamientos del terreno: técnicas de evaluación de los riesgos (1997).
- Contribución a la gestión del riesgo de los taludes existentes (M. Shimazu, 2000).

Por otra parte, se llevó a cabo una encuesta sobre los problemas de los taludes en servicio (publicada en el nº 306, II-2000, de Routes/Roads) para entender mejor el comportamiento de los terraplenes y empezar a evaluar la escala cuantitativa de inestabilidad. En la primera reunión del Comité Técnico C12, que tuvo lugar en París en marzo de 2000, se consideró imprescindible que todos los países tuvieran en cuenta en el proceso de proyecto y construcción los riesgos de deslizamiento de los taludes y se confeccionó un programa de trabajo sobre este tema.

Los aspectos geotécnicos de una carretera engloban principalmente: terraplenes y desmontes; taludes reforzados y estabilizados; explanadas y explanadas mejoradas bajo la estructura del firme; cimientos; obras de tierra que respeten el medio ambiente y el paisaje; drenaje del suelo y ordenación paisajística. Dado que en la mayoría de los casos se trata de materiales naturales, tanto las posibilidades de variación de las características geotécnicas como la sensibilidad a las degradaciones o cambios a largo plazo son mayores que en el caso de los demás materiales (generalmente fabricados) que se utilizan en la construcción de otros elementos de la red viaria. Sin embargo, su comportamiento puede tener una importante influencia en los costes y plazos de la construcción, en la seguridad, en el impacto sobre el medio ambiente, en las características y en el coste del ciclo de vida de la carretera. Por otra parte, los propietarios de la carretera tienen obligaciones frente a los propietarios de los terrenos adyacentes y frente al público en general, en lo que se refiere a la estabilidad del suelo, al agua de escorrentía y al agua subterránea. El comportamiento es difícil de prever y todavía no se comprende del todo, pero el objetivo consiste en desarrollar un concepto de "vida residual" para los aspectos geotécnicos de una carretera que permita una evaluación efectiva y la aplicación de estrategias de conservación adecuadas.

El C12 se ha centrado sobre todo en los taludes de los terraplenes porque su frecuencia de ruptura es mayor que la de cualquier otro elemento geotécnico, y también por la amenaza que representan desde el punto de vista económico y social. Se ha observado que la evaluación de los peligros y riesgos de ruptura de los taludes es cada vez más fiable; este mayor rigor se ha confirmado en muchos de los países que forman parte del C12. El informe final contiene una serie de recomendaciones sobre los riesgos de los taludes, completadas con estudios de casos.

REFERENCIAS

- Clayton C R I (2001). Managing Geotechnical Risk. Telford, Londres.
- Duncan J M, Naven M & Patterson K (1999). Manual of Geotechnical Engineering Reliability Calculations.
- FHWA SA-93-057 (1993). Rockfall Hazard Rating System. National Highway Institute.
- Kong W K (2002). Risk Assessment of Slopes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 35, 213-222.
- Lo D O K (2002). Interim Review of Pilot Applications of Quantative Risk Assessment to Landslide Problems in Hong Kong. GEO Report 126.
- McMillan P & Matheson G D (1997). A two-stage system for highway rock slope risk assessment. Int. J. Rock Mech. And Min. Sci. 34. Elsevier Science Ltd.
- Parkhurst S & Flavell R (2000). Risk assessment and quantification of slope condition based upon site inspection surveys. Railway Engineering 2000. Reino Unido.
- Perry J, Pedley M & Reid, M (2001). Infrastructure embankments – condition appraisal and remedial treatment. CIRIA Report C550. Construction Industry Research and Information Association, Londres.
- Schuster R L. Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247 Chapter 2 Socio-economic Significance of Landslides. Transportation Research Board, National Research Council.
- Shimazu A (2000). Contributions to risk management of existing slopes. PIARC Report.

Software:

LYNX Geosystems Inc (Canadá)

RocFall Rocscience Inc (Canadá)

@Risk Palisadi Corporation (Australia, Estados Unidos y Europa)

Páginas Web:

<http://www.ggsd.com> - Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory

<http://rru.worldbank.org/Toolkits/highways>

Kane A R (1999). Why asset management is more critically important than ever before. <http://www.tfrc.gov/pubrds/marapr00/kane.htm>. Speech to the Asset Management Peer Exchange, sponsored by AASHTO & FHWA.

CONCLUSIONES PROVISIONALES

Sería interesante estudiar los orígenes de las diversas prácticas de utilización de suelos naturales marginales en los terraplenes. La gran diversidad de soluciones no puede explicarse teniendo en cuenta simplemente las características locales como es el clima. El examen de la experiencia acumulada en una serie de países permitiría realizar importantes progresos en la reutilización de los suelos naturales.

Según se desprende de los resultados de la encuesta, debería prestarse mayor atención a los métodos y procedimientos relacionados con la construcción de la parte superior de los terraplenes. Es posible conseguir grandes mejoras en las obras de tierra mediante la reutilización de los materiales locales y el aprovechamiento óptimo de los recursos in situ. Este fue el tema del Seminario de la AIPCR celebrado en Ulan Bator (Mongolia) en junio de 2002. Las presentaciones y debates pusieron claramente de relieve el gran interés existente por la reutilización de los suelos naturales en las obras de tierra. Para los países en vías de desarrollo el problema consiste en transportar los materiales necesarios para una explanada tradicional; cabe considerar que la reutilización de materiales in situ ofrece una solución más económica, al tiempo que garantiza la calidad requerida de las obras. En los países desarrollados, el problema está relacionado más bien con el impacto sobre el medio ambiente: minimizar el uso de recursos naturales no renovables en las obras de tierra.

El estado actual de la técnica en relación con los diversos tipos de columnas portantes de terraplenes puede resumirse como sigue:

Columnas de grava

- a. Esta tecnología ha alcanzado su madurez y desde hace muchos años existen protocolos que se aplican sistemáticamente para su proyecto y construcción.
- b. Se han producido importantes mejoras en el equipo de construcción. El equipo moderno es más fácil de manejar, más rápido y más eficaz en la colocación de las columnas sobre el suelo o en el agua.

Columnas de hormigón vibrado

- a. Estas columnas se instalan utilizando prácticamente el mismo equipo que para las columnas de grava. En muchos lugares del mundo se usan con más frecuencias estas columnas que aquéllas de grava.
- b. Sus principales ventajas son la posibilidad de aplicarlos con suelos muy blandos, su bajo coste en relación con la capacidad portante vertical conseguida, y la posibilidad de formar una coronación ensanchando la parte superior de las columnas en la superficie del terreno.

Columnas de pilotes tradicionales hincados en el suelo y barrenas continuas (CFA: "Continuous Flight Auger")

- a. El uso de refuerzos de geosintéticos ha mejorado considerablemente la rentabilidad de estos pilotes de "alta" capacidad (en comparación con otros sistemas).
- b. La calidad y economía del sistema CFA ha mejorado enormemente en los últimos años.

Refuerzos de geosintéticos

- a. El empleo de refuerzos de geosintéticos ha mejorado de manera espectacular la economía de los terraplenes soportados por columnas. Los geosintéticos permiten un mayor espaciado entre columna y coronación sin necesidad de usar costosas losas de hormigón y eliminan la necesidad de pilotes inclinados en las pendientes laterales y finales.
- b. El procedimiento de proyecto no está completamente definido y no existe una norma universalmente aceptada. Existen numerosos métodos, y varios países (Alemania, Reino Unido y Suecia) han elaborado directrices y normas; no obstante, los métodos empleados varían según los proyectistas.
- c. El control y la calidad de la construcción son muy importantes para el éxito de un proyecto. Es fundamental utilizar materiales de gran calidad y tener el máximo cuidado para no dañar las columnas o coronaciones.

En relación con los riesgos de los taludes de las carreteras, hay que destacar los aspectos siguientes:

- Los problemas varían desde peligros devastadores que representan una amenaza para la vida y para la economía hasta simples molestias que sólo exigen un aumento de los costes de conservación.
- Los términos y metodología para determinar los riesgos (el producto del impacto por la probabilidad) están bien desarrollados en la actualidad. El concepto de riesgo debe cubrir toda la vida de un talud, desde el proyecto, pasando por la construcción, hasta la explotación.
- Los intentos de comprender el comportamiento de los taludes han tenido tendencia a centrarse en los aspectos mecánicos, actuales o pasados, en lugar de hacerlo en la predicción de la inestabilidad futura.
- La gestión de los taludes en el conjunto de un itinerario de transporte es relativamente nueva, no en el aspecto técnico, sino desde la perspectiva de la explotación, la planificación y los aspectos comerciales. Actualmente se cuantifica el valor de un elemento geotécnico en su conjunto y se reconoce su contribución como estructura.
- Son necesarios nuevos estudios sobre el efecto del cambio climático mundial y sobre la frecuencia y tamaño de las áreas con taludes inestables.
- Es preciso evaluar y desarrollar las técnicas analíticas de predicción de la inestabilidad.
- Deben identificarse las prácticas más adecuadas para gestionar de modo empresarial las redes viarias y para suministrar datos que permitan predecir el comportamiento.
- Se necesitan métodos para divulgar la importancia de los elementos geotécnicos para el comportamiento de otras estructuras de las carreteras.