

pavimentación, revestimiento de canales, diques reservorios y represas de tierra, estabilización de taludes, inyecciones, ladrillos, bloques, paneles y paredes monolíticas.

Los primeros estudios de suelocemento en gran escala fueron hechos por Moore-Field y Mills, en los Estados Unidos, en 1932.

En 1944, la "American Society for Testing Materials" (ASTM) normalizaba los ensayos, siendo seguida por otras entidades, tales como "American Association of State Highway Officials" (AASHO) y "Portland Cement Association" (PCA).

Tales estudios fueron rápidamente extendidos a Europa, principalmente Alemania (en la construcción de aeropuertos en la época de la guerra), Inglaterra y América del Sur (Brasil, Argentina y Colombia).

En el Brasil, en 1945, fué construída la primera obra en suelocemento que se tiene noticia: una casa de bombas para abastecimiento de las obras del aeropuerto de Santarém, en Pará, con 42 m².

Enseguida, en Petrópolis, en el local denominado Vale Florido, fueron ejecutadas casas residenciales en paredes monolíticas de suelocemento.

También por ese proceso, fué iniciada la construcción del Hospital Adriano Jorge, en 1948, en Manaus.

En Francia, a partir de 1955, fué intensificado el uso del suelocemento, pero los resultados no fueron satisfactorios, habiendo sido retomados los estudios en 1973.

Inspecciones hechas en las primeras obras de suelocemento en el Brasil, han demostrado que ellas continúan en perfecto estado de conservación.

En el Hospital de Manaus, donde el tenor de cemento usado fué 6%, la resistencia del material fué de 2,2 MPa. Dieciseis años después, cuerpos de prueba extraídos de las paredes han fornecido resistencias de 2,6 a 3,2 MPa.

Las paredes monolíticas del suelo quedaron, en la época, 12% más baratas que si hubiesen sido construídas en albañilería tradicional.

Hasta 1976 (26 años después de la construcción) no ha habido cualquier tipo de reparación, iniciándose en este año, una pintura de latex.

Mismo así, el suelocemento continúa sin cualquier defecto, al contrario que algunos materiales tradicionales tuvieron que ser substituídos (madera, tubulaciones, cerámica, etc.).

Actualmente, la utilización más difundida del suelocemento es en pavimentación, principalmente en Europa, América del Sur, Estados Unidos, Africa, Canadá y Oriente Medio.

EL SUELOCIMENTO

El suelocemento es una mezcla íntima y bien proporcionada de suelo con aglomerante hidráulico artificial denominado cemento portland, de tal manera que haya una estabilización de aquél por éste, mejorando las propiedades de la mezcla.

Varios factores pueden influenciar en las características del producto final y entre ellos podemos citar: dosificación de cemento, naturaleza del suelo, tenor de humedad, sistemas de obtención de la mezcla y de compactación o prensaje.

La cohesión del suelocemento es determinada por la constitución del cemento, su finura, la cantidad de agua y la temperatura ambiente.

Las impurezas que puedan existir en el agua de la mezcla, pueden ser agresivas al cemento (como por ejemplo sulfatos y materia orgánica).

Las cantidades más adecuadas son determinadas a través de los ensayos de laboratorio o ensayos expeditos, de acuerdo con los tipos de suelo y de cemento a

ser usados.

Los ensayos de resistencia a la compresión pueden ser ejecutados en cilindros Proctor o cilindros definidos por Carlos de Souza Pinto o directamente sobre ladrillos (o bloques) de suelocemento.

En el estudio del suelocemento, el primer paso es hacer la colecta correcta del suelo para ejecutar su clasificación a través de ensayos de laboratorio.

El proceso de estabilización de suelo por un aglomerante hidráulico es un fenómeno aún no totalmente conocido, haciéndose apenas algunas hipótesis.

La explicación más aceptada es de que por la hidratación del cemento hay una mudanza en la densidad de la carga eléctrica en el medio arcilloso, a través del cambio de cations, habiendo una atracción entre las partículas, haciendo con que se reunan, formando partículas mayores, determinando de ésta forma, la pérdida brusca de la plasticidad de la mezcla.

El producto final se caracteriza por la formación de cadenas hexagonales que aislan en su interior partículas que no llegan a ser aglutinadas, impidiendo su dilatación a través de la impermeabilidad.

NORMALIZACION

Hecho el análisis del suelo, se determinan la dosificación de cemento más adecuada para que el producto final tenga las características deseadas.

El "Centro de Pesquisas e Desenvolvimento" (CEPED), en Bahía, Brasil, es la entidad Brasileña que más se ha dedicado a la construcción y pesquisas de suelocemento vueltas a la construcción de paredes monolíticas, habiendo introducido algunas novedades a las normas de la ABCP, pues las publicaciones de ésta son dedicadas más a la pavimentación sin embargo, las primeras noticias en Brasil son de construc-

ciones de casas ejecutadas por la ABCP.

Esta entidad utiliza dos procesos de dosificación de suelocemento: La Norma General (1935), aplicable a cualquier tipo de material, teniendo en cuenta principalmente la parte fina del suelo y la Norma Simplificada de Dosificación (1952), aplicable a suelos granulares (con 50% de material retenido en el cedazo número 200 y 20% de arcilla, como máximo), considerando principalmente la acción cementante de las partículas grandes.

La Norma General de Dosificación mide el grado de estabilización del suelo a través del ensayo de durabilidad por mojadura y secamiento, que determina la pérdida de peso del material dosificado con diferentes cantidades de cemento.

Este método consiste en las siguientes operaciones: compactación y moldaje de muestras con diferentes cantidades de cemento, curado de las muestras durante siete días, inmersión en agua por cinco horas, calentamiento en estufa a 71°C, durante 42 horas, enfriamiento y cepilladura (una hora), repetición de estas operaciones (calentamiento y enfriamiento), por doce veces, cálculo de la pérdida de peso en porcentaje del peso inicial de la muestra, comparación de las pérdidas de las muestras con las pérdidas de peso máximas admisibles previstas, en fundión del tipo de suelo y fijación del tenor ideal.

El ensayo de durabilidad es caracterizado por expansiones (resultando en esfuerzos de tracción en la cadena hexagonal) y retracciones (correspondiendo a esfuerzos de compresión). Los aros que no resisten a esos esfuerzos se rompen, siendo eliminados por el cepillo, determinando la pérdida de peso.

La Norma Simplificada de Dosificación hace una comparación entre la durabilidad (por mojadura y secamiento) y la resistencia a los siete días. La ABCP a través de innumerables ensayos, ha concluido que el tenor de cemento

que corresponde a la resistencia mínima admisible determina una pérdida de peso inferior a la máxima admisible. Los valores límites encontrados para resistencia a la compresión de muestras saturadas son 2,1 y 5,6 MPa.

Estos dos métodos son más aplicados en obras de pavimentación.

La primera alteración introducida en las normas de la ABCP, por el CEPED, ha sido en cuanto a las dimensiones de los cuerpos de prueba para los ensayos, teniendo en vista los efectos de extremidad observados en los cilindros Proctor.

El ensayo de durabilidad por secamiento y mojadura alternadas, para doce ciclos, verificándose la pérdida de peso, es efectuado sin la cepilladura de los cuerpos de prueba, por ser las condiciones de las paredes menos severas que las de pavimentos.

Posteriormente la ABCP ha propuesto un método para dosificación para suelocemento aplicado a construcción de viviendas durables, impermeables y de bajo costo, a través de los ensayos rápidos para selección de suelos, el cual puede ser resumido así:

a) Colecta de muestras en número proporcional a la variedad de ocurrencias de tipos de suelo en la región, con un mínimo de nueve amostras.

b) Preparación de las muestras, efectuándose según la práctica ordinaria de preparación de muestras de suelocemento.

c) Caracterización del suelo a través de los ensayos de granulometría, peso específico del suelo mojado, peso específico máximo del suelo seco y del suelo húmedo e índices físicos.

d) Compactación del suelocemento, usándose normalmente tres tenores de cemento en peso, correspondiendo a tres pares de valores peso específico máximo, humedad óptima del suelocemento.

Se repiten los ensayos para diferentes

energías de compactación (50%, 70% y 120% de la energía normal) obteniéndose nueve pares de resultados.

Para cada tenor de cemento son moldeados 24 cuerpos de prueba, completando 72 para los ensayos de durabilidad, después de siete días en cámara húmeda.

e) Los resultados deberán ser estudiados a través de las relaciones:

- cemento/tipo de suelo/pérdida de peso
- peso específico aparente máximo seco/pérdida de peso/tenor de cemento.
- peso específico aparente máximo seco/tenor de cemento/tipo de suelo/pérdida de peso.

CRITERIOS

En 1948 la ABCP ha fijado criterios para la aplicación del suelocemento en construcciones de pared:

Resistencia a la compresión a los 28 días, mayor o igual a 1,0 MPa, después una hora de inmersión en agua.

-Pérdida máxima de peso seco al final del sexto ciclo del ensayo de durabilidad: 14% para los suelos arenosos, 10% para los "siltosos" y 7% para los arcillosos.

- Variación del volumen hasta el sexto ciclo: 1% del volumen inicial.

Estos criterios fueron adoptados con base en las normas ASTM de 1944.

Algunos autores citan 0,7 como la relación entre las resistencias de las paredes monolíticas y los cuerpos de prueba cilíndricos.

Son indicados por la ABCP, para cargas de tejados sobre la pared, 0,75 MPa (coeficiente de seguridad 5) y para cargas de tejados sobre pilares de hormigón (u otro material), 0,5 MPa para cargas en las paredes.

El CEPED ha indicado 10% para la pérdida máxima admisible, en ensayo de durabilidad del suelocemen

to, al final del 12° ciclo (más severo que el criterio de ABCP).

MODOS DE UTILIZACION

El suelocemento es un material que puede ser utilizado en construcción civil, bajo diversas formas: la más difundida actualmente es en pavimentación, que fué también el primer uso del suelo estabilizado por el cemento.

El proceso consiste en la estabilización del suelo por un aglomerante (normalmente cemento portland común y cal), para mejorar la calidad del producto final, aumentando la resistencia mecánica, la durabilidad, la resistencia a la acción del agua y del hielo.

Otras formas de utilización, visando principalmente la construcción de paredes de edificios y casas tuvieron su inicio posteriormente. Entre los métodos más utilizados, podemos citar: paredes monolíticas, bloques y ladrillos.

Las especificaciones de los tipos de suelo indicados para pavimentación y para construcción de paredes son diferentes por sus diversas funciones.

En el Brasil, la normalización existente es para pavimentación, aplicándose apenas parcialmente en las construcciones de paredes, pues las resistencias mecánicas y al desgaste no son tan importantes como en aquél caso, lo que exige un suelo más arenoso, el cual otorgará al producto final, mayor resistencia.

Para la fabricación de paredes monolíticas, normalmente no se usa cal, por ser ésta más indicada para uso en suelos más arcillosos, los cuales son inadecuados para la construcción de paredes.

En el caso de construcciones de viviendas de suelocemento, algunos factores deben ser llevados en consideración:

-A veces las características del material exceden a las necesidades reales.

-El costo puede llegar a ser mayor que el poder adquisitivo de la población.

-Las técnicas de dosificación deben ser lo más simples posibles y las consideraciones deben ser hechas para cada local en la obra.

Los estudios hechos por la ABCP, para construcción de viviendas tuvieron la finalidad de obtener un producto más leve y con menores tenores de cemento, pero con buenas características de durabilidad, resistencia e impermeabilidad, con menor energía de compactación, pudiendo ser utilizada una prensa manual de pequeño porte y bajo costo.

En experiencia realizada en Teófilo Otoni, estado de Minas Gerais (Brasil), en la construcción de casas para flagelados de las violentas lluvias que asolaron la región, fueron construídas numerosas casas de paredes monolíticas de suelocemento. En el adensamiento del material en las formas, fué utilizada mano de obra de viejos, mujeres y niños, haciendo que toda la familia participase de la construcción. En este programa, los estudios de costos realizados permitirían la fijación de la parcela mensual debida por los propietarios, en aproximadamente un quinto del salario familiar.

CONSTRUCCION DE PAREDES MONOLITICAS

El CEPED ha desenvuelto un método para la selección del suelo para construcción de paredes monolíticas de suelocemento, fijando en 50% y 80% los límites de la cantidad de arena que un suelo debe poseer para que pueda ser utilizado en la fabricación de las paredes.

Fué definida también una serie de ensayos expeditos para selección del material en el campo:

a) Hacer una pelota de tierra bien húmeda, colocándola en la palma de la mano y golpear con la otra