



Simulación de estallido de rocas mediante ensayos dinámicos sobre el sistema de soporte

Gabriel von Rickenbach, Rico Brändle, Roberto Luis y Rolando Romero

Resumen: El soporte del terreno para solicitaciones dinámicas debe estar concebido poder resistir las cargas y deformaciones asociadas y debe funcionar como un sistema. Para probar la idoneidad de tales sistemas de soporte con pernos y mallas de acero de alta resistencia y analizar su comportamiento, se desarrolló una instalación de ensayos a gran escala en Walenstadt, Suiza. En este bastidor de ensayos es posible aplicar altas energías en diversas configuraciones de soporte del terreno variables con patrones de pernos variables y mallas con un área de soporte total de 3.6×3.6 m a escala natural. El sitio de ensayos está equipado con células de carga, análisis de video de alta velocidad y acelerómetros. En este trabajo se analizan los datos las celdas de carga, los acelerómetros y las cámaras de video de alta velocidad, y se discuten los resultados de las pruebas del sistema.

Palabras clave: ensayo dinámico, configuración a escala natural, ensayo al sistema, mallas de acero de alta resistencia MinaX®

Desarrollo

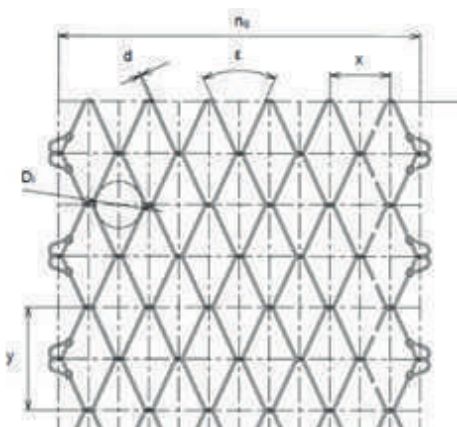


Fig.1 geometría de la malla romboidal MinaX®

La actividad minería es cada vez más profunda y el riesgo por estallido de rocas es cada vez mayor en las excavaciones subterráneas. Especialmente en los túneles mineros, cuando se busca el estrato mineral, las galerías se profundizan cada vez más, superando en ocasiones los 1000 m, aunque pueden ocurrir, a profundidades menores. El estallido de rocas es una especie de “terremoto artificial” inducido por efecto antrópico, como las excavaciones mineras. El mecanismo del estallido de rocas inducido por la perturbación minera se revela en términos de energía. Se presentarán dos condiciones necesarias para la ocurrencia del estallido de rocas: (1) la masa rocosa tiene la capacidad de almacenar una gran cantidad de energía; y (2) las condiciones geológicas en el área minera son favorables, es decir, ambientes de geo-estrés, que promueven el área de alta concentración de esfuerzos y acumulan una gran cantidad de energía [6]. La necesidad de incrementar la capacidad de disipación de energía en los diseños de sistemas de soporte se hace cada vez mayor. Con este objetivo fin, se han realizado estudios sistemáticos, con el objetivo de mejorar el rendimiento de los elementos individuales y los sistemas de soporte completos [7, 8]. Además, el desarrollo de membranas de alambre de acero ligero en forma de rombo de muy alta resistencia a la tracción en los últimos años ha dado un gran giro a esta tendencia. Estas potentes soluciones flexibles [5] combinadas con anclajes adecuados son un gran paso hacia la solución de situaciones en las que la protección contra cargas dinámicas es imperativa. La malla de alambre de alta resistencia (1770 MPa) ofrece un soporte de superficie para muchas condiciones de suelo diferentes (fig. 1).

La malla está fabricada de alambre de acero de alta resistencia con un diámetro de 4 o 3 mm, tiene

forma romboidal desarrollada específicamente para minimizar las deformaciones y con los extremos anudados. Se llevaron a cabo una serie de ensayo a gran escala durante 2017 y 2018 en una cantera en Walenstadt, Suiza [3, 4]. Los principales objetivos de estos ensayos a escala natural fueron aumentar el conocimiento sobre el comportamiento e interacción del soporte flexible anclado con el terreno, ante una carga dinámica para verificar la confiabilidad y validación de los supuestos de dimensionamiento, -basados en observaciones de campo y cálculos retrospectivos-. Los experimentos iniciales permitieron la observación y optimización de la configuración del ensayo, el procedimiento y el método de adquisición de datos.

Después de optimizar la configuración, se llevaron a cabo reiterados ensayos para garantizar resultados experimentales fiables y comparables. La carga dinámica se reproduce dejando caer un bloque de hormigón armado (fig. 2). Las aceleraciones en los tres ejes principales se midieron en la parte superior del bloque. Además, los equipos de medición han detectado las fuerzas que actúan durante el ensayo sobre los anclajes. El ensayo se grabó con dos cámaras de alta velocidad y dos de tiempo real. La deformación se midió con una cámara de alta velocidad desde un lateral.



Fig. 2 Estructura del ensayo

El soporte del terreno ensayado consta de una primera capa de malla de alta resistencia MinaX® 80/4 recubierta de hormigón de 10 cm anclada con cinco barras macizas roscadas (pernos diámetro 25 mm, límite elástico 500 MPa, carga de rendimiento 245 kN) y una segunda capa de malla MinaX® 65/4 en el exterior del hormigón anclado con cuatro anclajes de cable gemelos (cable bolt doble diámetro 15,7 mm, límite elástico 1.770 MPa, carga límite elástico 218 kN) (fig. 3).



Fig. 3 Vista inferior configuración con MinaX® 65/4, cuatro cables bolts dobles y cinco pernos

Las aceleraciones del bloque se midieron en el medio de la superficie superior usando un acelerómetro de tres ejes (2.000 g). (Fig. 4). Se utilizó tecnología de medición in-dummy; igual tecnología a la que se utiliza en maniqués de ensayos para choques. Los sensores registran los datos medidos completamente incluso con la interrupción del cable de conexión.

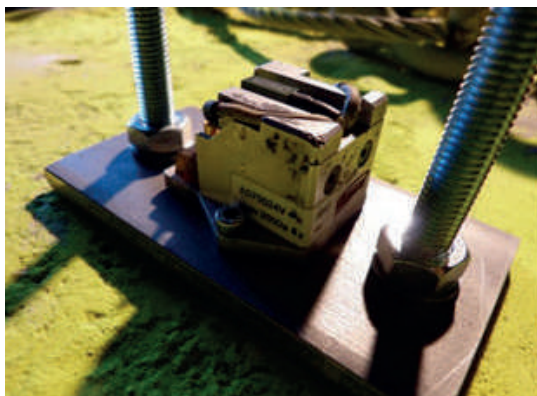


Fig. 4. Acelerómetro 3D

Después del ensayo, el sensor se volverá a conectar con la puerta de enlace para descargar los datos de información. Las fuerzas se midieron con

células de carga (fig. 5) en los cinco pernos, las barras sólidas en el estribo después de la primera capa de malla y después de la segunda capa de malla. El cable doble se ancla justo en la parte superior y después de la malla. El desplazamiento de los anclajes se ha medido mediante vídeo de alta velocidad.



Fig. 5. Células de carga en los anclajes

En junio de 2018, se realizó un ensayo a gran escala con una energía de impacto de 463 kJ (Fig. 6). El bloque de hormigón de 9.640 kg se dejó caer desde una altura de 4,90 m sobre la masa rocosa simulada sobre el soporte del suelo. El bloque estaba completamente restringido por el sistema de soporte del terreno [1].



Fig. 6. Impacto del bloque de hormigón sobre el macizo rocoso simulado

Las cargas de anclaje medidas muestran valores realistas en comparación con las observaciones de vídeo (fig. 7). El perno central roto (anclaje 5, barra maciza de 25 mm de diámetro) mostró un valor máximo en la parte superior de 288 kN que es igual a la carga de rotura característica de la barra maciza.

Las barras sólidas en las esquinas (anclajes 1 y 9) recibieron una carga significativamente menor en comparación con los pernos de cable gemelos en los lados (anclajes 6 y 8). Esto se puede explicar con su ubicación ya que los anclajes en la esquina están más alejados de la zona de impacto del bloque de hormigón instalado y con la forma del bloque de hormigón. Un cable del perno de cable gemelo 2 y otro en el perno de cable gemelo 8 se rompieron (Fig. 8). No hubo daños visibles en la malla.

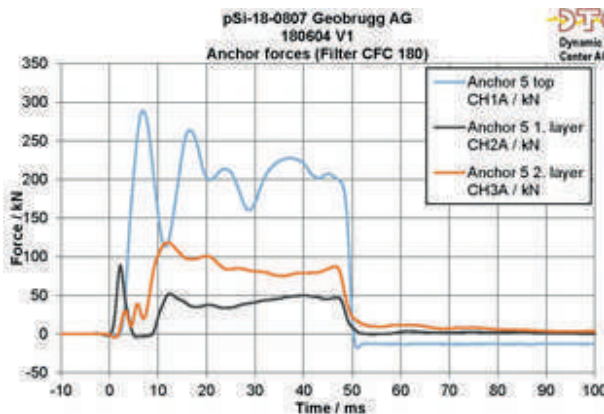


Fig. 7 Medición de solicitaciones en el perno central 5



Fig. 8 Cable bolts a presión

Conclusiones

Los ensayos dinámicos de laboratorio contribuyen al conocimiento primario y establecen parámetros iniciales de comparación entre diferentes elementos. Sin embargo, la necesidad de trabajar a pequeña escala limita las posibilidades de una perfecta simulación de la realidad y, por tanto, es importante entender cómo se realiza la prueba y la trascendencia de los resultados. Las características de una prueba de laboratorio que intenta reproducir las condiciones de una mina, siempre se aproximarán a las condiciones en el sitio. Sin embargo, permite realizar comparaciones entre sistemas / elementos de apoyo-fortificación y ayuda a avanzar en la comprensión del complejo problema del apoyo terrestre. Con esta exitosa prueba de un sistema de refuerzo (shotcrete con malla, perno y una segunda capa de malla con pernos de cable) en condiciones dinámicas, se pueden sumar antecedentes experimentales a la teoría y se confirma que este tipo de soporte puede ser de gran utilidad en áreas donde potencial rockburst se esperaban. Los elementos del sistema de medición (sensores de carga, acelerómetros y cámaras de video de alta velocidad) mostraron su idoneidad en la obtención de datos. La descripción detallada de cada ensayo también proporciona datos relacionados con la aceleración y el desplazamiento del sistema tras el impacto.

Referencias bibliográficas

- [1] Aschwanden, F. & Murri, R. 2018, Test Documentation of the Rockburst Impact Test, Performed on June 4, 2018. Report No. pSi-18-0807, Dynamic Test Center AG, Vauffelin/Biel
- [2] ASTM A975 - 11(2016) Standard specification for double-twisted hexagonal mesh gabions and revet mattresses (metallic-coated steel wire or metallic-coated steel wire with poly (vinyl chloride) (PVC) coating)
- [3] Brändle, R. and Luis Fonseca, R. 2019. Dynamic testing of surface support systems Ground Support 2019. Australian Centre for Geomechanics, Perth, ISBN 978-0-9876389-4-6
- [4] EAD 2300025-00-0106, 2016 Flexible facing for Slope Stabilization and Rock protection. June 2016 EOTA
- [5] Luis Fonseca, R., Laguna, L. & Muñoz, B. 2009, Comparative analysis of the mechanical properties of the steel membranes for slope stabilization, VII National Symposium on Unstable Hills and Slopes, Barcelona.
- [6] Meifeng, C. 2016, Prediction and prevention of rockburst in metal mines e A case study of Sanshandao Gold Mine. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 8 (2016) 204e211
- [7] Player, J., Villaescusa, E. and Thompson A. 2009 Dynamic testing of friction rock stabilisers. 3rd Canada-US Rock Mechanic Symposium, Toronto. Canada
- [8] Plouffe, M. Anderson, T. and Judge, K, 2008 Rock bolts testing under dynamic conditions at CANMAT-MMSL. 9th International Symposium on Ground Supporting Mining and Civil Eng. Construction, Cape Town, South Africa. SAMM.