



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Una nueva estrategia para el estudio de la vulnerabilidad de edificios expuestos a explosiones a cielo abierto

F. Zárate^{a,b,*}, V.E. Cardoso^{a,b,c}, A. Barbat^{a,b} y S. Botello^c

^a CIMNE - Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria, C. Gran Capitan s/n, Campus Nord, 08034 Barcelona, Spain

^b UPC - Universitat Politècnica de Catalunya, C. Gran Capitan s/n, Campus Nord, 08034 Barcelona, Spain

^c CIMAT - Centro de Investigación en Matemáticas A. C., Jalisco S/N, 36240 Valenciana, Guanajuato, Gto., México

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 24 de mayo de 2016

Aceptado el 19 de julio de 2016

On-line el xxx

Palabras clave:

Vulnerabilidad

Riesgo

Explosión

Índice de daño

Elementos discretos

R E S U M E N

En este artículo se describe una nueva metodología para evaluar el efecto de las explosiones a cielo abierto sobre estructuras equivalentes a las fachadas de los edificios. El daño sufrido por la estructura se define mediante superficies de vulnerabilidad que son función de la magnitud de la explosión, la distancia de esta a la estructura y del índice de daño por detonación desarrollado en este artículo. El índice propuesto considera la degradación de la capacidad de carga de la estructura, la fracturación y la pérdida de material debido a la explosión. Para ello, la estructura se modela mediante elementos discretos (DEM) los cuales permiten representar adecuadamente estados de multifractura. La capacidad de carga de la estructura se cuantifica mediante un ensayo virtual sobre la estructura dañada. Las fuerzas provocadas sobre la estructura por la explosión se modelan utilizando una metodología semiempírica, lo que permite obviar el análisis con base en la dinámica de fluidos reduciendo el tiempo de cálculo.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

A new strategy for the vulnerability study of buildings exposed to open-air explosions

A B S T R A C T

In this paper, a new methodology is described to evaluate the effect of open air explosions on equivalent structures to the facades of buildings. The structural damage is defined by vulnerability surfaces that are a function of the explosion magnitude, the distance to the structure and the detonation damage index developed in this article. The proposed index considers the structural load capacity degradation, the fracturing and the loss material due to the explosion. The structure is modeled by means of discrete elements (DEM) which allows describing the multifracturing state. The load capacity of the structure is quantified by a virtual compression test on the damaged structure. The forces on the structure caused by the explosion are modeled by a semi-empirical methodology, which avoids the fluid-dynamic analysis and reduces the computation time.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords:

Vulnerability

Risk

Explosion

Damage index

Discrete elements

1. Introducción

La seguridad es un aspecto esencial en la gestión urbana, de manera que los métodos de detección de riesgos y cuantificación

de daños juegan un papel fundamental en el diseño, planificación y operatividad de cualquier ciudad. Por desgracia, la actividad humana es en sí misma un riesgo potencial, ya sea de forma involuntaria, o premeditada. En los últimos años algunas de las áreas urbanas más importantes en el mundo han sido objeto de amenazas terroristas: El WTC de Nueva York, la estación de trenes de Atocha, el maratón de Boston, etc. Por otra parte, también es necesario considerar explosiones de origen no intencionado, provocados

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: zarate@cimne.upc.edu (F. Zárate).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.07.001>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

por desastres naturales, incendios, tornados, etc., así como accidentes. Por tales razones, en este artículo se propone una metodología para analizar los daños en los edificios causados por detonaciones.

Debido a la vulnerabilidad de las ciudades, las agencias gubernamentales están buscando estrategias para mantener niveles aceptables de seguridad [1–3] así como herramientas para gestionar el riesgo [4,5], con el objeto de estar siempre por delante de las amenazas. Estas acciones intentan reducir los daños materiales, las pérdidas humanas y mejorar la resiliencia [6].

Las detonaciones pueden ser un riesgo importante que afecta a las zonas urbanas, por ejemplo, cuando se transportan productos inflamables para ser procesados o distribuidos, cuando existen amenazas terroristas o cuando son producidas a consecuencia de un desastre natural. Bajo estas consideraciones, la planificación y la gestión urbana debe considerar dicho riesgo. Algunos autores proponen mitigar el impacto de la onda explosiva utilizando meta-materiales elásticos [7], pero esta solución es demasiado cara para ser implementada de forma generalizada en una zona urbana. En lugar de ello, la planificación de la capacidad de recuperación es más asequible y útil, lo que permite clasificar las ciudades en función de su resiliencia [8].

El efecto mecánico de una explosión se debe a la interacción de la onda de choque generada por la explosión contra una estructura. Por ello es necesario caracterizar adecuadamente el comportamiento de las ondas de choque existiendo varias estrategias. En particular Strehlow et al. [9] proponen un modelo simplificado basado en llamas de velocidad constante. Kim et al. [10] simulan la propagación de la onda expansiva en un tubo utilizando una formulación totalmente conservadora, teniendo en cuenta las propiedades termodinámicas y los parámetros químicos de detonación. Kong et al. [11] estudiaron el mecanismo de las explosiones utilizando la hidrodinámica de partículas y el método de los elementos finitos (MEF) validando sus resultados numéricos con pruebas experimentales.

Todos estos enfoques son excesivamente costosos desde el punto de vista computacional cuando el problema a resolver es la evaluación del comportamiento de un edificio sometido a una explosión. Algunos autores abordan este inconveniente incorporando funciones de onda [12,13]. Kingery desarrolla una función de ondas de choque semiempírica, utilizando la conocida escala Hopkinson o ley de la "raíz cúbica" para escalar el efecto de la explosión [14,15]. El modelo tiene en cuenta el ángulo de incidencia de la onda de explosión, pero no considera la mitigación por objetos interpuestos entre la onda y el edificio, así como las condiciones de confinamiento.

En los últimos años, se han realizado simulaciones numéricas considerando el efecto del chorro de aire provocado por la explosión mediante el MEF, para estudiar el comportamiento de las estructuras fabricadas por diferentes materiales compuestos como el hormigón armado [16–18], fibras de alto rendimiento [19], paneles sándwich de aluminio corrugado [20,21]. Sin embargo, estos estudios no cuantifican el daño estructural, ni la vulnerabilidad de las edificaciones así como la metralla generada por la explosión. El método desarrollado por Cizelj et al. [22] predice la respuesta inelástica y la fractura de elementos subestructurales sometidos a la explosión y proporciona una evaluación rápida de la vulnerabilidad, sin embargo no mide el material desprendido del edificio y su capacidad de carga remanente. Aunque el fenómeno de la explosión está bien analizado numéricamente, las incertidumbres en el modelo tienen un efecto importante en los resultados de la simulación [23–26].

En este artículo se propone una metodología para evaluar los efectos producidos en una estructura por una explosión. Para ello se hace uso de metodologías bien probadas y experimentadas. El aspecto novedoso es su uso en situación de riesgo ante explosiones, definiendo un experimento virtual que permite cuantificar el

daño mediante un nuevo índice de daño definido a partir de las simulaciones numéricas. Dichas simulaciones caracterizan adecuadamente las fuerzas de presión sobre la estructura debidas a la onda de choque [16,27,28]. La estructura se discretiza mediante el método de los elementos discretos (DEM) [29] el cual ha sido ampliamente estudiado [30–33] y en especial bajo el efecto de las explosiones [28,34–36]. Posteriormente, mediante la simulación de un ensayo de compresión, se evalúa la capacidad resistente remanente a fin de obtener la correspondiente superficie de daño o de vulnerabilidad similar a la que ha sido desarrollada en el caso de la amenaza sísmica [37–39]. Se muestra un ejemplo completo que ilustra la metodología propuesta del efecto de las explosiones sobre las estructuras. El resultado más importante es la superficie de vulnerabilidad. Cabe mencionar que la finalidad última es la de diseñar una herramienta computacional que facilite la interpretación del efecto causado por explosiones en zonas urbanas.

2. El método de los elementos discretos

El método de los elementos discretos (DEM) es una técnica numérica eficaz y potente para reproducir el comportamiento del material granular. En los últimos años el DEM también se ha aplicado de manera efectiva al estudio de múltiples fracturas en sólidos formados por geomateriales (suelos y rocas), hormigón, mamposería y materiales cerámicos, entre otros.

Muy diversos trabajos de investigación sobre el DEM se han realizado en las últimas décadas ya que las primeras ideas fueron presentadas por Cundall [29]. Algunos acontecimientos clave, incluyendo las contribuciones del equipo del autor, se pueden encontrar en [29,31,32,40–60].

El análisis de materiales sólidos cohesivos con el DEM plantea una serie de dificultades para reproducir el comportamiento constitutivo de un material bajo las hipótesis del comportamiento elástico lineal y/o no lineal. Dentro del análisis de los sólidos mediante el DEM el material se representa típicamente como una colección de partículas rígidas (esferas en tres dimensiones (3D) y discos en dos dimensiones (2D)) de diámetro variable y que interactúan entre sí en las direcciones normal y tangencial. Aunque el método no se limita únicamente al uso de partículas esféricas, existiendo también el uso de polígonos (2D) y poliedros (3D). Dado que no existe una ventaja significativa para definir un continuo mediante esferas o poliedros [61], se ha optado por el uso de las primeras debido a la eficiencia y simplicidad de los algoritmos de contacto necesarios.

Respecto al diámetro de las esferas y su distribución, se requiere que sea aleatoria, siguiendo una ley de distribución normal sobre un radio medio y ordenando los elementos de forma que logre la máxima compacidad dado el dominio a discretizar. Adicionalmente es requerido que el número de coordinación medio sea superior a nueve con el fin de que las propiedades macroscópicas sean correctamente capturadas [31,34,50,62].

Dichas propiedades son función de las leyes de contacto entre las partículas, por lo que puede verse como la formulación del modelo de material del continuo subyacente a nivel microscópico. Para materiales friccionantes la ley de contactos debe tomar en cuenta la cohesión entre las partículas rígidas. Dichas uniones cohesivas pueden romperse, permitiendo así simular la fractura del material y su propagación.

El modelo que define el contacto entre dos esferas rígidas se emplea para calcular las fuerzas de interacción entre ellas (normal y tangenciales). Este modelo se ilustra en la figura 1 y se caracteriza por la rigidez normal, k_n , la rigidez tangencial, k_T , el coeficiente de fricción de Coulomb, μ , y el coeficiente de amortiguamiento, c_n , que disipa la energía cinética y contribuye a la fuerza de contacto normal.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050730>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050730>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)