



Doctoral Thesis

Dynamisches plastisches Verhalten von Stahlbetontragwänden unter Erdbebeneinwirkung

Author(s):

Lestuzzi, Pierino

Publication Date:

2000

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004035070> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 13726

**Dynamisches plastisches Verhalten
von Stahlbetontragwänden
unter Erdbebeneinwirkung**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Pierino Lestuzzi
ing. civ. dipl. EPF
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
geboren am 19. Oktober 1964
von Neuchâtel NE

Angenommen auf Antrag von:
Professor Dr. Hugo Bachmann, Referent
Professor Dr. Léopold Pflug, Korreferent

2000

Kurzfassung

Das Erdbebenrisiko wurde lange Zeit erheblich unterschätzt. Auch in den mässig erdbebengefährdeten Ländern, wie der Schweiz, kann jederzeit ein starkes Erdbeben stattfinden. Es muss dann mit enormen Erdbebenschäden gerechnet werden. Das Erdbebenverhalten der Bauwerke hängt hauptsächlich von ihrer Duktilität ab. Schlanke Stahlbetontragwände bieten bei Hochbauten eine günstige Lösung zur Abtragung der horizontalen Kräfte. Sie können ohne nennenswerte Mehrkosten duktil gestaltet werden. Um eine effiziente Bemessung und Beurteilung von Stahlbetontragwänden durchführen zu können, müssen vereinfachte Modelle verwendet werden. Die Modelle müssen das plastische Stahlbetonverhalten unter Erdbebeneinwirkung realitätsnah erfassen. Sie werden deswegen mit praktischen Versuchen überprüft und kalibriert. Zudem spielt die Wahl der Erdbebenanregung bei plastischem Verhalten eine äusserst wichtige Rolle.

In dieser Arbeit werden zuerst dynamische Versuche an sechs Stahlbetontragwänden auf dem ETH-Erdbebensimulator [LWB 99] betrachtet. Sie werden in Kapitel 2 interpretiert. Die Fließverschiebung wird anhand einer spezifischen Darstellung der Messwerte direkt aus den Versuchen herausgelesen. Anschliessend werden die Energieanteile während der Versuche bestimmt.

In Kapitel 3 werden die Versuchsergebnisse mit äquivalenten Einmassenschwingern nachgerechnet. Drei verschiedene hysteretische Modelle werden zu diesem Zweck untersucht. Diese sind das elastoplastische Modell (EP-Modell), das Q-Modell und das Takeda-Modell. Zudem wird ein neues vereinfachtes hysteretisches Modell, das γ -Modell, vorgeschlagen. Das EP-Modell beschreibt das dynamische Stahlbetonverhalten nur grob. Das Takeda- und das Q-Modell modellieren das Verhalten viel besser. Das γ -Modell gibt sehr gute Resultate, auch wenn es keinen Abfall der Entlastungssteifigkeit berücksichtigt.

Um die Bedeutung der Erdbebenanregung bei plastischem Verhalten untersuchen zu können, werden zunächst zwei "Werkzeuge" eingeführt. Das Antwortspektrum der dissipierten Energie wird in Kapitel 4 beschrieben. Seine Form hängt in erster Linie vom Fourieramplitudenspektrum der Anregung ab. Die Erzeugung der künstlichen Erdbeben wird in Kapitel 5 behandelt. Eine neue iterative Phasenkorrektur wird dargestellt, um das Antwortspektrum der Beschleunigung an das Zielspektrum anzunähern. Die Phasenkorrektur ermöglicht die Erzeugung von Anregungen mit gleichem Energiegehalt.

Zwei verschiedene künstliche Anregungen, beide kompatibel zum gleichen Bemessungsspektrum, können zu einer ganz unterschiedlichen dynamischen Antwort eines nichtlinearen Einmassenschwingers führen. In Kapitel 6 wird die Wirkung des Phaseninhalts der Anregung auf die Streuung der erforderlichen Verschiebeduktilität untersucht. Zu diesem Zweck werden verschiedene Anregungstypen erzeugt. Der vorwiegende Einfluss der Phasenwinkel der Fourierkoeffizienten auf die erforderliche Verschiebeduktilität wird aufgezeigt. Zum Vergleich werden auch Anregungen mit dem häufig verwendeten SIMQKE-Simulationsverfahren erzeugt. Diese können jedoch nicht die ganze Streuung abdecken. Anhand der Resultate wird die Anwendbarkeit der Festigkeitsreduktionsfaktoren diskutiert.

Abstract

Seismic risk has traditionally been underestimated. A strong earthquake can occur any time in the regions with moderate seismicity such as in Switzerland. In these cases, severe damage can be anticipated. The behaviour of structures under seismic excitation depends mostly on their ductility. Slender reinforced concrete structural walls provide good horizontal stability for buildings. These structural walls can be designed as simple, ductile elements. Simple models can be used to give an efficient design and evaluation of reinforced concrete structural walls. The models must describe the realistic plastic behaviour of reinforced concrete. They must therefore be checked and calibrated with physical tests. In addition, the choice of the earthquake excitation is an important parameter in the dynamic response by plastic behaviour.

This thesis begins with a summary of the dynamic tests on six reinforced concrete structural walls performed on the ETH earthquake simulator (shake table). The test results are interpreted in Chapter 2. The measured data shows the yielding displacement. The energy during the tests is also determined.

In Chapter 3 the test results are calculated with equivalent single-degree-of-freedom Systems (SDOF). Three different hysteretic models are investigated. These are the elastoplastic model (EP-model), the Q-model and the Takeda-model. In addition a new simplified model, the γ -model, is proposed. The EP-model gives only an approximate description of the dynamic behaviour of reinforced concrete. The Takeda-model and the Q-model describe the dynamic behaviour much better. The γ -model also gives good results, even if it does not consider the degradation of the unloading stiffness.

Two tools are introduced to investigate the importance of the seismic excitation on plastic behaviour. Chapter 4 describes the response spectrum of the dissipated energy. The form of the response spectrum depends mostly on the fourier amplitude spectrum of the excitation. Chapter 5 investigates the generation of synthetic earthquakes. A new procedure with iterative phase angle correction is proposed to bring the acceleration response spectrum to the target spectrum. This procedure permits the generation of excitations with the same energy contents.

Two different synthetic earthquakes, both compatible with the same design spectrum, can give totally different dynamic responses for a non-linear SDOF. Chapter 6 investigates the influence of the phase angle content of the excitation on the variation of the displacement ductility demand. Different types of excitations are generated to this end. The calculations clearly show that the phase angle content has the greatest influence on the displacement ductility demand. Excitations are also generated with the often used simulation procedure of the computer program SIMQKE. These excitations cannot cover the full range of displacement ductility demand. Finally, the utilisation of strength reduction factors is discussed.

Résumé

Le risque sismique a longtemps été sous-estimé. Un violent séisme peut survenir à tout moment même dans des pays à faible sismicité comme la Suisse, causant d'énormes dégâts. Le comportement sismique des structures dépend essentiellement de leur ductilité. Les bâtiments peuvent être avantageusement stabilisés horizontalement par des parois élancées en béton armé. Ces parois porteuses peuvent être réalisées de telle manière qu'elles présentent un comportement ductile, sans surcoût notable. L'utilisation de modèles simplifiés est nécessaire pour permettre de dimensionner ou d'évaluer efficacement ces parois porteuses. Les modèles doivent décrire de manière réaliste le comportement plastique du béton armé sous charge sismique. C'est pourquoi ils doivent être vérifiés et étalonnés avec des résultats expérimentaux. L'excitation sismique joue en outre un rôle particulièrement important dans la réponse dynamique de la structure, si celle-ci se comporte plastiquement.

Ce travail analyse tout d'abord les essais dynamiques de six parois porteuses en béton armé avec le simulateur de séismes de l'EPFZ [LWB 99]. Les essais sont interprétés dans le chapitre 2. Le déplacement élastique peut être déduit directement des essais grâce à une représentation appropriée des mesures. Les différentes formes d'énergie entrant en jeu durant les essais sont ensuite examinées.

Le chapitre 3 reproduit les résultats des essais avec des systèmes équivalents à un degré de liberté. Trois différents modèles d'hystérésis sont analysés: Le modèle élastoplastique (modèle EP), le modèle Q et le modèle Takeda. Un nouveau modèle simplifié, le modèle γ , est en outre proposé. Le modèle EP ne décrit que de manière grossière le comportement dynamique du béton armé. Les modèles Takeda et Q, en revanche le modélisent beaucoup mieux. Le modèle γ donne de bons résultats, même si il ne considère pas de réduction de la rigidité lors du déchargement.

Deux "outils" sont ensuite introduits pour mettre en évidence l'importance de l'excitation sismique si la structure se comporte plastiquement. Le chapitre 4 analyse le spectre de réponse de l'énergie dissipée. Sa forme dépend principalement du spectre d'amplitude de Fourier de l'excitation sismique. Le chapitre 5 examine la génération des séismes artificiels. Il s'achève par la description d'une nouvelle méthode itérative de correction des phases pour ajuster le spectre de réponse de l'accélération au spectre cible. La correction des phases permet de générer des séismes artificiels avec le même contenu énergétique.

Deux séismes artificiels différents, tous deux compatibles avec le même spectre de dimensionnement, peuvent induire des réponses dynamiques complètement différentes, même pour un système à un degré de liberté. Le chapitre 6 examine l'influence du contenu en phases du séisme sur la dispersion de la ductilité en déplacement nécessaire. L'influence prépondérante des phases est mise en évidence grâce à la génération de différents types de séismes. Des excitations sismiques ont aussi été générées avec la méthode de simulation du programme SIMQKE, lequel est fréquemment utilisé pour produire les séismes artificiels. L'utilisation des facteurs de réduction de la résistance est ensuite discutée au vu de ces résultats.