

DISS. ETH NO. 18645

**THE USE OF POST-EARTHQUAKE RESIDUAL DISPLACEMENTS
AS A PERFORMANCE INDICATOR IN SEISMIC ASSESSMENT**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

UFUK YAZGAN

Master of Civil Engineering,
Middle East Technical University (METU)

born 10.03.1980

citizen of
Republic of Turkey

accepted on the recommendation of

Professor Alessandro Dazio	examiner
Professor Polat Gülkan	co-examiner
Professor Joel P. Conte	co-examiner

2009

Abstract

Safety assessment of damaged structures is a pivotal part of the post-earthquake recovery process. As a result of the deformation histories that have occurred during the damaging earthquake, the key structural properties of the columns, beams and walls that contribute to the seismic resistance change. The key structural properties include stiffness, strength and deformation capacity. An accurate estimation of the residual key structural properties is crucial in identifying vulnerability of the damaged structure.

These residual structural properties are known to be strongly dependent on the maximum deformations that have occurred. A new post-earthquake assessment method is developed following this premise. After an earthquake, the maximum deformations experienced by a damaged structure can be estimated using the developed method.

The essential idea behind the method is to probabilistically estimate the experienced maximum deformations based on the post-earthquake residual displacements and the visible structural damage. The major uncertainties related to the estimated maximum deformations are explicitly treated in the method. The sources of uncertainties include: (1) errors in the response prediction due to imperfections of the structural model, (2) lack of knowledge of the experienced ground motion, and (3) incompleteness of knowledge of the parameters of the structural analysis model —e.g. material properties, damping behavior, gravity loads. The assessment method is applied to two example structures tested on shaking tables. Comparison of the estimated maximum displacements with those measured during the test confirms the effectiveness of the method.

In order to assess the probable error in the results of nonlinear time-history analysis, shaking table tests are numerically reproduced. The predicted maximum and residual response parameters are compared with those measured during the test. Considered response parameters include the average drift ratio, the ground story drift ratio and the rotations at the plastic hinging regions. A set of alternative modeling approaches is utilized in the analyses. The results suggest that, for the considered response parameters, accuracies of the predicted residual values are noticeably lower than that of the maximum values.

Sensitivity analyses are carried out to investigate the influence of a range of model parameters on the predicted maximum and residual deformations. Following factors are found to influence the predicted residual displacements: the axial load considered in the model, the assumed damping ratio, the adopted finite-element discretization scheme, and the utilized reinforcement stress-strain model.

The method proposed in this study can be utilized as a sub-component in any post-earthquake decision-making process. The proposed method would serve as a consistent and rational basis for the assessment of the risks associated with the damaged structures.

Kurzfassung

In der Wiederaufbauphase nach einem Erdbeben spielt die Standsicherheitsbeurteilung beschädigter Bauwerke eine zentrale Rolle. In Folge der Verformungsgeschichte, welcher das Bauwerk während des Erdbebens ausgesetzt war, verändern sich die wesentlichen mechanischen Eigenschaften von Stützen, Riegeln und Tragwänden, welche zum Erdbebenwiderstand beitragen. Zu diesen mechanischen Eigenschaften gehören die Steifigkeit, die Tragfähigkeit, sowie das Verformungsvermögen der Bauteile. Die möglichst genaue Abschätzung der verbleibenden mechanischen Eigenschaften ist entscheidend für die Bestimmung der Verletzlichkeit eines beschädigten Bauwerks.

Es ist bekannt, dass die Veränderung der oben genannten mechanischen Eigenschaften sehr stark von den maximal aufgetretenen Verformungen abhängt. Aufbauend auf dieser Prämisse wird im Folgenden ein neues Verfahren zur a posteriori Beurteilung von Erdbebenschäden entwickelt. Dieses Verfahren erlaubt es, nach einem Erdbeben die maximalen Verformungen abzuschätzen, die von einem beschädigten Bauwerk erfahren wurden.

Der grundlegende Ansatz dieser Methodik besteht darin, die maximalen Verformungen anhand der bleibenden Deformationen nach dem Erdbeben sowie sichtbarer Schäden probabilistisch abzuschätzen. Die Hauptunsicherheiten im Zusammenhang mit der Bestimmung der maximalen Verformungen werden im Rahmen des Verfahrens explizit behandelt. Zu den Ursachen derartiger Unsicherheiten gehören: (1) Fehler in der Strukturanalyse aufgrund von Unzulänglichkeiten bei der Modellierung, (2) mangelnde Kenntnis der Bodenanregung und (3) unvollständige Kenntnis der in das mechanische Modell eingehenden Parameter, wie z.B. der Materialeigenschaften, des Dämpfungsverhaltens und der Schwerlasten. Das Beurteilungsverfahren wird exemplarisch auf zwei Versuchskörper angewendet, die auf Rütteltischen getestet wurden. Ein Vergleich zwischen den abgeschätzten maximalen Verformungen und den gemessenen Deformationen während der Experimente bestätigt die Eignung des Verfahrens.

Um den zu erwartenden Fehler nichtlinearer Zeitverlaufsrechnungen abzuschätzen, werden Rütteltischexperimente numerisch nachgerechnet. Die dabei vorhergesagten maximalen und verbleibenden Antwortgrößen werden mit den entsprechenden gemessenen Größen aus dem Experiment verglichen. Zu den hierbei betrachteten Antwortgrößen gehören die mittlere Schiefstellung der Gesamtstruktur, die Schiefstellung im Erdgeschoss und die Rotationen in den plastischen Gelenken. Für diese Analysen kommen verschiedene Modellierungsvarianten zum Einsatz. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Genauigkeit der vorhergesagten bleibenden Verformungen deutlich geringer ist als jene der maximalen Deformationen.

Es werden Sensibilitätsanalysen durchgeführt, um zu untersuchen, welchen Einfluss eine Reihe von Modellierungsparametern auf die maximalen und bleibenden Verformungen hat. Bei den folgenden Faktoren wurde ein merklicher Einfluss auf die bleibenden Verformungen ausgemacht: Die modellierte Normalkraft, das angenommene Dämpfungsmass, die gewählte finite Elemente Diskretisierung und die verwendete Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Bewehrungsstahls.

Die hier vorgeschlagene Methodik kann als Teilkomponente eines jeglichen Entscheidungsprozesses nach einem Erdbeben verwendet werden. Das Verfahren stellt eine konsistente und rationale Basis für die Beurteilung der von beschädigten Bauwerken ausgehenden Risiken dar.